

98

621(083)
С-741

СПРАВОЧНИК МАШИНОСТРОИТЕЛЯ

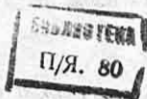
В ШЕСТИ ТОМАХ

43676

Т о м 6

Главный редактор тома
д-р техн. наук проф. Э. А. САТЕЛЬ

*Издание второе,
исправленное и дополненное*



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Москва 1956

АВТОРЫ ТОМА

АВРАСИН Я. Д., канд. техн. наук, БЕРГ П. П., проф. д-р техн. наук, БЕРНШТЕЙН М. Л., канд. техн. наук, ГЕНЕРОЗОВ Б. А., ст. науч. сотр., ГЛИНЕР Б. М., инж., ДАВИДОВСКАЯ Е. А., канд. техн. наук, ЕЛЧИН П. М., инж., ЕРЕМИН Н. И., канд. физ.-мат. наук, ИВАНОВ Д. П., канд. техн. наук, КНОРОЗ Л. И., инж., КОБРИН М. М., канд. техн. наук, КОРИЦКИЙ В. Г., доц., КРОТКОВ Д. В., инж., КУДРЯВЦЕВ И. В., проф. д-р техн. наук, КУЛИКОВ И. В., канд. техн. наук, ЛЕПЕТОВ В. А., канд. техн. наук, ЛИКИНА А. Ф., инж., МАТВЕЕВ А. С., канд. техн. наук, МИЛЬМАН Б. С., канд. техн. наук, ПАВЛУШКИН Н. М., канд. техн. наук, ПТИЦЫН В. И. инж., РАКОВСКИЙ В. С., канд. техн. наук, РАХШТАДТ А. Г., канд. техн. наук, РЯБЧЕНКОВ А. В., проф. д-р хим. наук, СИГОЛАЕВ С. Я., канд. техн. наук, СМИРЯГИН А. П., канд. техн. наук, СУЛЬКИН А. Г., инж., ТУТОВ И. Е., канд. техн. наук, ХРУЦОВ М. М., проф. д-р техн. наук, ЦЫПИН И. О., канд. техн. наук, ШАРОВ М. Я., инж., ШЕРМАН Я. И., доц., ШМЕЛЕВ Б. А., канд. техн. наук, ЮГАНОВА С. А., канд. физ.-мат. наук.

Редактор инж. Б. М. Глинер

Редактор графических работ инж. В. Г. Карганов

Редакция справочной литературы
Зав. редакцией инж. М. Е. МАРКУС

Адрес редакции: Москва, К-12, Третьяковский проезд, д. 1, Машгиз

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ | |
| Глава I. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ | 1 |
| Статические испытания при нормальной температуре (проф. д-р техн. наук <i>И. В. Кудрявцев</i> и канд. техн. наук <i>М. М. Кобрин</i>) | 1 |
| Определение твердости (<i>И. В. Кудрявцев</i> и <i>М. М. Кобрин</i>) | 12 |
| Динамические испытания при нормальной температуре (<i>И. В. Кудрявцев</i> и <i>М. М. Кобрин</i>) | 19 |
| Испытания при повышенных температурах (<i>И. В. Кудрявцев</i> и <i>М. М. Кобрин</i>) | 23 |
| Испытания материалов и деталей машин на трение и изнашивание (проф. д-р техн. наук <i>М. М. Хрущов</i>) | 25 |
| Глава II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ (инж. <i>Б. М. Глазнер</i>) | 34 |
| Определение обрабатываемости металла резанием | 34 |
| Сокращенные методы определения обрабатываемости металла | 35 |
| Определение режущих свойств быстрорежущей стали | 36 |
| Испытания на прокаливаемость | 37 |
| Испытания на свариваемость | 39 |
| Прочие методы испытания технологических свойств металлов | 42 |
| Испытания труб | 44 |
| Глава III. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА И ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ | 45 |
| Химический анализ (ст. научн. сотр. <i>Б. А. Генерозов</i>) | 45 |
| Спектральный анализ (доц. <i>В. Г. Коричкин</i>) | 50 |
| Фазовый анализ | 52 |
| Электрохимический фазовый анализ (инж. <i>А. Ф. Ликина</i>) | 52 |
| Газы в стали (канд. техн. наук <i>Б. А. Шмелев</i>) | 53 |
| Термический анализ (канд. техн. наук <i>И. Е. Тутов</i>) | 55 |
| Дилатометрический анализ (<i>И. Е. Тутов</i>) | 58 |
| Структурный анализ | 59 |
| Рентгеноструктурный анализ (канд. физ.-мат. наук <i>С. А. Юганова</i>) | 59 |
| Магнитный структурный анализ (канд. физ.-мат. наук <i>Н. И. Еремин</i>) | 61 |
| Радиотехнический метод испытаний (канд. техн. наук <i>А. С. Матвеев</i>) | 67 |
| Определение структуры по электрическому сопротивлению и теплопроводности (инж. <i>Л. И. Кнороз</i>) | 68 |
| Дефектоскопия | 71 |
| Магнитная порошковая дефектоскопия (канд. техн. наук <i>С. Я. Сиглаев</i>) | 71 |
| Рентгено- и гамма-дефектоскопия (инж. <i>А. Г. Сулькин</i>) | 75 |
| Ультразвуковая дефектоскопия (<i>А. С. Матвеев</i>) | 80 |
| Люминисцентная дефектоскопия (инж. <i>П. М. Елчин</i>) | 83 |
| Испытания металлов на коррозию и их химическая стойкость (проф. д-р хим. наук <i>А. В. Рябченков</i> и канд. техн. наук <i>Е. А. Давидовская</i>) | 85 |
| Глава IV. СТАЛЬ | 100 |
| Диаграмма состояний сплавов железо-углерод (канд. техн. наук <i>М. Л. Бернштейн</i> и канд. техн. наук <i>А. Г. Рахштадт</i>) | 101 |
| Общие закономерности термической обработки стали (<i>М. Л. Бернштейн</i> и <i>А. Г. Рахштадт</i>) | 105 |
| Легированная сталь (<i>М. Л. Бернштейн</i> и <i>А. Г. Рахштадт</i>) | 111 |
| Основные виды контроля качества стали (<i>М. Л. Бернштейн</i> и <i>А. Г. Рахштадт</i>) | 120 |
| Классификация, свойства и назначение стали (<i>М. Л. Бернштейн</i> и <i>А. Г. Рахштадт</i>) | 122 |
| Сортамент стали (инж. <i>Д. В. Кротков</i>) | 170 |
| Глава V. ЧУГУН | 199 |
| Общие свойства чугуна (проф. д-р техн. наук <i>П. П. Берг</i>) | 199 |
| Чугун как конструкционный материал (<i>П. П. Берг</i>) | 208 |
| Серый и высокопрочный чугун (канд. техн. наук <i>Б. С. Мильман</i> и канд. техн. наук <i>И. О. Цылик</i>) | 209 |
| Белый чугун (канд. тех. наук <i>Д. П. Иванов</i>) | 223 |
| Отбеленный чугун (<i>Д. П. Иванов</i>) | 226 |
| Ковкий чугун (<i>Д. П. Иванов</i>) | 229 |
| Графитизированная сталь (<i>Д. П. Иванов</i>) | 240 |
| Глава VI. ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ (канд. техн. наук <i>А. П. Сморягин</i>) | 246 |
| Медь техническая | 246 |
| Медноцинковые сплавы — латуни | 248 |
| Оловянные бронзы | 253 |
| Бронзы безоловянные | 262 |
| Подшипниковые сплавы | 270 |
| Припой | 273 |
| Сплавы никеля | 276 |
| Сплавы цинка | 291 |

| | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|----------------------------------------------------------------------|-----|
| Сплавы свинца | 294 | Клен (Я. Д. Аврасин) | 355 |
| Сплавы алюминия | 296 | Резина (канд. техн. наук В. А. Лепетов) | 357 |
| Сплавы магния | 312 | Кожа техническая | 361 |
| Глава VII. МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ. НАПЛАВОЧНЫЕ ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ (канд. техн. наук В. С. Раковский) | | Асбест инж. В. И. Птицын | 364 |
| Металлокерамические материалы | 318 | Слюда В. И. Птицын | 370 |
| Металлокерамические твердые сплавы | 325 | Стекло (канд. техн. наук Н. М. Павлушкин) | 371 |
| Наплавочные твердые сплавы | 326 | Эмали (доц. Я. И. Шерман) | 374 |
| Глава VIII. НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ | | Керамические материалы (Я. И. Шерман) | 376 |
| Древесина (канд. техн. наук И. В. Куликов) | 329 | Лакокрасочные материалы (инж. М. Я. Шаров) | 384 |
| Пластмассы (канд. техн. наук Я. Д. Аврасин) | 337 | ПРЕДМЕТНЫЙ АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ (С. Л. Хасьминский) | |
| | | | 395 |

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

| Обозначение | Наименование |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| a_n | Ударная вязкость (удельная) при надрезе образца |
| E | Модуль продольной упругости |
| H_B | Твердость по Бринелю |
| H_n | Твердость по пирамиде |
| $H_{от}$ | Твердость по отскоку |
| H_{RA}, H_{RB}, H_{RC} (R_A, R_B, R_C) | Твердость по Роквеллу (соответственно по шкале А, В или С) |
| $H_{ц}$ | Твердость по царапине |
| δ | Относительное удлинение образца при разрыве |
| δ_5, δ_{10} | Относительное удлинение при разрыве короткого и соответственно длинного образца |
| ψ | Относительное сужение при разрыве |
| σ_v | Предел прочности (временное сопротивление) |
| $\sigma_{вр}$ | Предел прочности при растяжении |

| Обозначение | Наименование |
|-----------------|------------------------------------------------------------|
| $\sigma_{сж}$ | Предел прочности при сжатии |
| $\sigma_{из}$ | Предел прочности при изгибе |
| σ_T | Предел текучести |
| $\sigma_{0,2}$ | Условный предел текучести при пластической деформации 0,2% |
| $\sigma_{пц}$ | Предел пропорциональности |
| σ_y | Предел упругости |
| σ_{-1} | Предел выносливости при изгибе с симметричным циклом |
| $\sigma_{пл}$ | Предел ползучести |
| σ_{-1}^a | Предел прочности при кручении |
| $\tau_{сф}$ | Предел прочности при срезе |
| τ_T | Предел текучести при сдвиге |
| τ_{-1} | Предел выносливости при кручении с симметричным циклом |

ГЛАВА I

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ

Механическая прочность устанавливается специальными механическими испытаниями образцов, изготовленных из исследуемой детали, или материала, предназначенного для нее.

Вид назначаемого механического испытания зависит от условий службы детали. При испытаниях материалов различают статические, динамические и повторно-переменные способы приложения нагрузок, каждый из которых в свою очередь может быть классифицирован по схемам нагружения: растяжение, сжатие, кручение, изгиб и т. д.

В зависимости от времени воздействия нагрузок на испытуемый образец различают длительные и кратковременные испытания.

Определение механических свойств осуществляется при пониженной, нормальной и повышенной температурах.

СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ПРИ НОРМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

Испытания на растяжение

Машины для испытаний на растяжение. Машина для испытания растягивающей нагрузкой — разрывная машина — сообщает испытуемому образцу удлинение и измеряет растягивающую силу, вызвавшую это удлинение.

Разрывные машины осуществляют растяжение образца: 1) при постоянной скорости деформации или 2) при постоянной скорости нагружения.

В практике испытаний материалов на растяжение (металлов, дерева, тканей и пр.) пользуются большей частью машинами первого типа. Машины второго типа применяются главным образом для испытания очень хрупких материалов (литейных стержней, цемента и др.).

Основными частями каждой разрывной машины являются механизм, создающий

растяжение образца, и механизм, измеряющий силу сопротивления образца растяжению. Конструкция этих механизмов определяет тип машины.

Механизм, создающий растяжение образца, может быть: а) с гидравлическим приводом — перемещение одного из захватов происходит от поршня гидравлического цилиндра; б) с механическим приводом — перемещение захвата осуществляется с помощью червячной передачи от винтового шпинделя с гайкой.

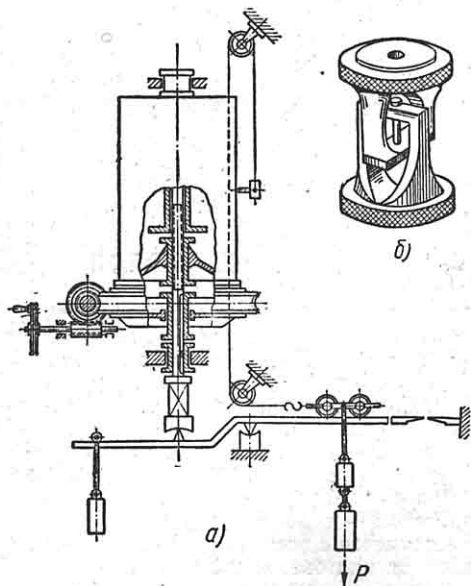
Механизм, измеряющий силу, может быть: а) с рычажным измерением силы, в котором определение силы производится рычагом с подвижным грузом (метод десятичных весов); б) с рычажно-маятниковым измерением силы, где роль подвижного груза играет отклоняющийся тяжелый маятник; в) с измерением сил гидравлическим способом (манометры, жидкостные месдозы и пр.); г) с пружинным силоизмерением.

Наиболее чувствительными, точными и простыми по конструкции являются машины с рычажно-маятниковым силоизмерением. Машины с пружинным силоизмерением менее надежны.

Разрывные машины, развивающие максимальную силу свыше 50 т, выпускаются главным образом с гидравлическим приводом. Для мелких машин гидравлический и механический типы привода конкурируют друг с другом по надежности и удобству обслуживания.

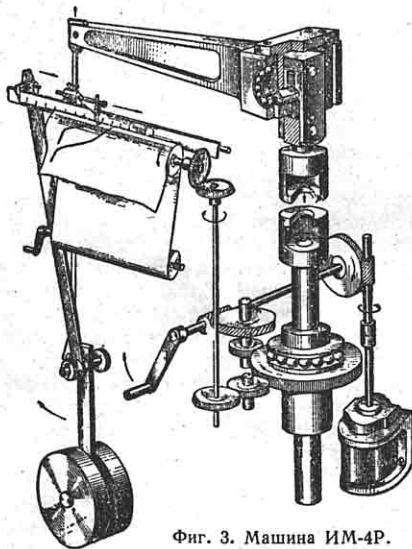
Некоторые конструкции испытательных машин помимо растяжения позволяют производить испытания и под сжимающими нагрузками. Машины такого типа носят название универсальных.

При выборе машины для силоизмерения необходимо учитывать, что силоизмерительные машины могут быть надежно использованы для отсчетов только в пределах от 10 до 100% обозначенной на шкале максимальной силы, и допускаемые погрешности силоизмерения



Фиг. 1. Схема пресса Гагарина на 5 т.

должны составлять не более $\pm 1,0\%$ измеряемой силы; если погрешности достигают $\pm 2,0\%$, машина может быть

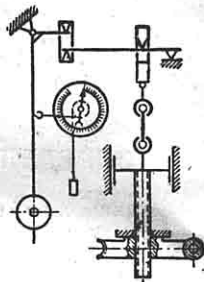


Фиг. 3. Машина ИМ-4Р.

Фиг. 3а. Кинематическая схема машины ИМ-12А: 1 — тяговой винт; 2 — гайка тягового винта; 3 — червячное колесо; 4 — червяк; 5, 6, 7 и 8 — зубчатые колеса; 9 — червячное колесо; 10 — червяк; 11 — электродвигатель.

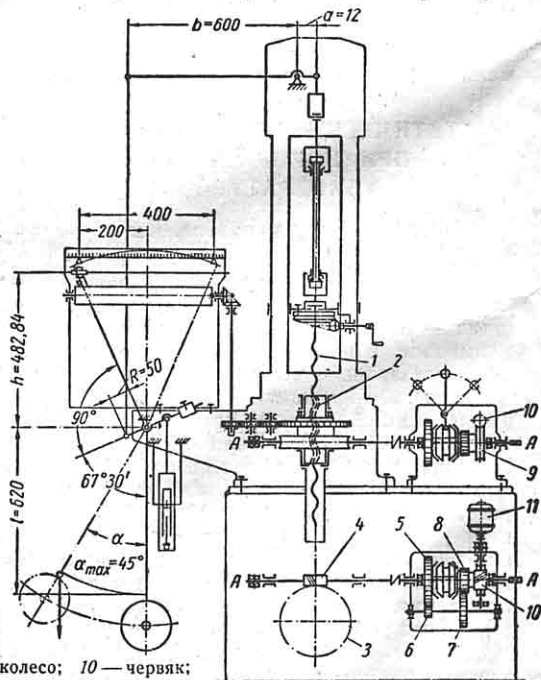
использована для испытаний только при условии внесения поправок к ее показаниям согласно аттестату или поправочной кривой. При погрешности выше $\pm 2,0\%$ машины к эксплуатации не допускаются.

На фиг. 1—4 приведены схемы наиболее типичных испытательных машин, осуществляющих растяжение при постоянной скорости деформации, на фиг. 5 — схема машины, работающей с постоянной скоростью нагружения.

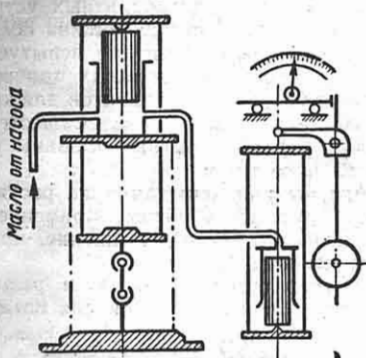


Фиг. 2.

Схема пресса Гагарина на 5 т с большой диаграммной записью, механическим приводом и рычажным силоизмерением, а также реверсор к нему приведены на фиг. 1, а и б. Испытание на растяжение осуществляется при помощи реверсора. Привод смонтирован в виде двух червячных пар и винта с гайкой, с которыми соединен диаграммный барабан больших размеров



для автоматической записи кривых растяжения (масштабы записи: по деформации 100 : 1 и по силам 5 кг в 1 мм). Силоизмерение — рычажное; движение груза по длинному плечу рычага осуществляется автоматически от электромагнитного или пружинного устройства.



Фиг. 4. Схема универсальной машины на 100 т с гидравлическим приводом.

Схема машины на 10 т с механическим приводом и рычажно-маятниковым силоизмерением приведена на фиг. 2. Привод машины состоит из червячной пары и винта с гайкой. Измерение силы осуществляется через верхний захват и подвеску рычагом второго рода и маятником. По мере возрастания сил левое плечо рычага опускается, вызывая поворот маятника.

Действующая в образце сила принимается пропорциональной синусу

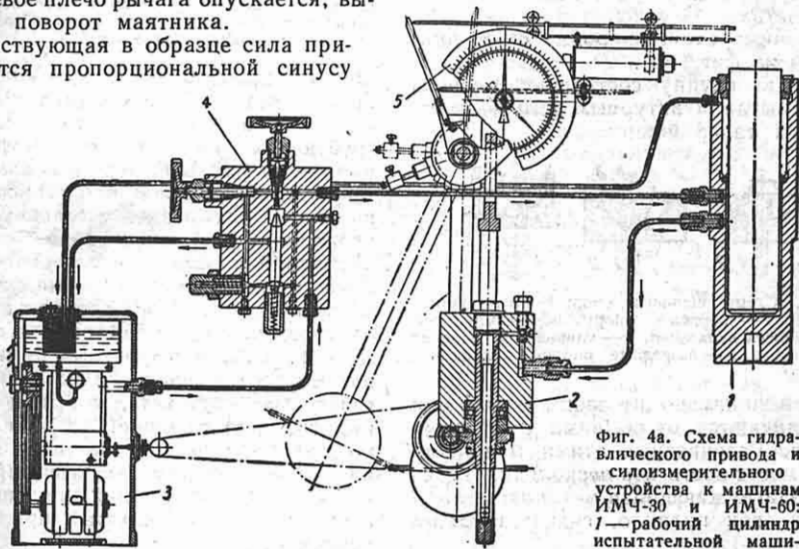
угла отклонения маятника. Для отсчета силы рядом с маятником укреплен круглый циферблат с равномерными делениями. Через ось указателя перекинута связанная с маятником нить с грузиком на свободном конце.

Схема машины ИМ-4РЦНИИТМАШ на 4 т с механическим приводом, рычажно-маятниковым силоизмерением и большой диаграммной записью приведена на фиг. 3 (масштабы записи те же, что и у прессы Гагарина). Измерение сил производится по прямолинейной равномерной шкале, вдоль которой передвигается каретка с указателем и пишущим пером. Провдвижение каретки определяется углом α отклонения маятника. Шестеренная передача от гайки привода обеспечивает синхронное вращение диаграммного барабана с поступательным движением нагружающего шпинделя. Машина работает от электродвигателя или вручную; особым преимуществом ее являются простое устройство и небольшие размеры.

Принципиально такую же схему нагружения имеет широко распространенная машина ИМ-12А, ЦНИИТМАШ.

Общая кинематическая схема машины приведена на фиг. 3а.

Схема универсальной машины на 100 т с гидравлическим приводом и силоизмерением приведена на фиг. 4.



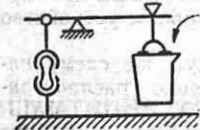
Фиг. 4а. Схема гидравлического привода и силоизмерительного устройства к машинам ИМЧ-30 и ИМЧ-60: 1 — рабочий цилиндр испытательной машины; 2 — измерительный; 3 — насосный агрегат; 4 — распределительная корбка; 5 — механизм шкалы и диаграммный аппарат.

цилиндр гидравлично-маятникового силоизмерительного устройства; 3 — насосный агрегат; 4 — распределительная корбка; 5 — механизм шкалы и диаграммный аппарат.

Деформация испытуемого образца осуществляется перемещением средней траверсы, связанной двумя тягами и поперечиной с поршнем гидравлического цилиндра. Сила определяется по давлению масла в рабочем цилиндре динамометром, состоящим из гидравлического цилиндра с поршнем и массивного маятника. Увеличение давления масла в цилиндре силоизмерителя вызывает выдвижение поршня и отклонение маятника от вертикального положения.

Типичная схема гидравлического привода и силоизмерительного устройства, относящихся к машинам на 30 и 60 т (ИМЧ-30 и ИМЧ-60 изготовления ЦНИИТМАШ), приведена на фиг. 4а.

Схема разрывной машины с постоянной скоростью нагружения приведена на фиг. 5. Нагружение образца производится рычагом, на длинном плече которого подвешен сосуд, постепенно заполняемый в процессе испытания каким-либо сыпучим материалом (дробью) или жидкостью (водой). После разрушения образца определяется вес сосуда с содержимым. Для лучшего центрирования образца применяют самоцентрирующиеся шаровые опоры в захватах.



Фиг. 5.

Типичные схемы шаровых опор приведены на фиг. 6. Особую группу составляют машины для испытания натуральных деталей и отдельных узлов машин.

Принципиально по своим схемам они не отличаются от обычных разрывных машин. Развиваемые этими машинами силы могут достигать нескольких тысяч тонн. Нагружающийся механизм выполняется, как правило, гидравлического типа.

Типичные схемы шаровых опор приведены на фиг. 6. Особую группу составляют машины для испытания натуральных деталей и отдельных узлов машин.



Фиг. 6. Схемы шаровых опор: 1 — испытуемый образец; 2 — шаровые опоры; 3 — самоустанавливающиеся вкладыши; 4 — клинья для плоских образцов; 5 — разрезные опорные кольца.

Принципиально по своим схемам они не отличаются от обычных разрывных машин. Развиваемые этими машинами силы могут достигать нескольких тысяч тонн. Нагружающийся механизм выполняется, как правило, гидравлического типа.

Тип механизма, измеряющего силы, зависит от назначения машины и опре-

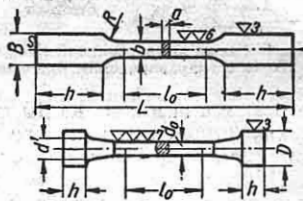
деляется конкретными условиями испытания детали или узла.

Требования, предъявляемые к силоизмерителю в отношении точности и надежности показаний, не отличаются от описанных выше.

Эти машины могут отличаться конструктивно от малогабаритных устройств станины, которая должна обеспечить свободное размещение испытуемой детали и всех контрольных приборов, а также устройством захватов для крепления детали или узла. Существуют также крупногабаритные машины универсального типа.

Образцы для испытания на растяжение. Типовые образцы, применяемые при испытаниях на растяжение, приведены на фиг. 7.

Употребительная форма и размеры цилиндрических образцов для материала-



Фиг. 7. Типовые образцы для испытания на растяжение: h — длина головки, при помощи которой образец закрепляется в захватах машины; L — расчетная длина образца до испытания (рабочая часть); R — радиус закругления переходной части; d — диаметр цилиндрического образца до испытания; a — толщина плоского образца; L — общая длина образца.

лов, обладающих достаточной пластичностью, показаны на фиг. 8, а; образцов с резьбовыми головками для испытаний, требующих тщательного центрирования, — на фиг. 8, б; образцов для испытаний стали с малой пластичностью — на фиг. 8, в; образцов для крепления клиновыми захватами для испытаний пластичных материалов (без помощи экстензометров) — на фиг. 8, г; образцов для испытаний стали и цветных металлов на прессе Гагарина и машине ЦНИИТМАШ — на фиг. 8, д; плоских разрывных образцов для испытания катаного листового металла (стали и цветных сплавов) толщиной до 25 мм (a — по толщине листа) даны на фиг. 8, е; на фиг. 8, ж показан образец, применение которого допускается для испытаний сварных соединений встык при снятом усилении.

В СССР наиболее распространены цилиндрические образцы, расчетная

длина которых равна удесятеренному (десятикратные) и пятикратному диаметру (пятикратные). Образец диаметром 20 мм называется нормальным. Образцы других размеров сечения называются пропорциональными. По ГОСТ 1497-42 образцы для испытания на растяжение должны удовлетворять требованиям, приведенным в табл. 1 и 2.

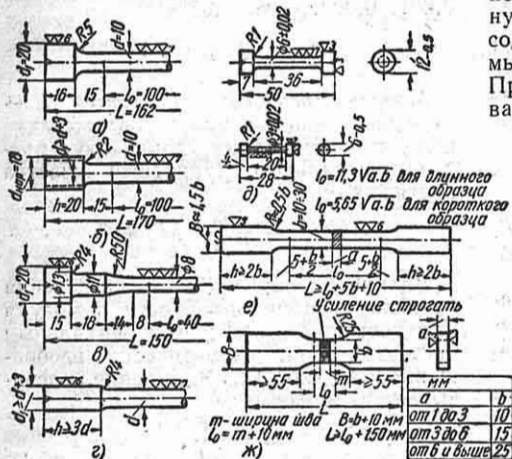
Таблица 1

Типы образцов для испытания на растяжение

| Образец | Расчетная длина l_0 в мм | Сечение образца F_0 в мм ² | Диаметр цилиндрического образца d_0 в мм | Символ кратности образца* |
|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|
| Нормальный: длинный | 200 | 314 | 20 | δ_{10} |
| Нормальный: короткий | 100 | 314 | 20 | δ_5 |
| Пропорциональный: длинный | $11,3 \sqrt{F_0}$ | Произвольное | Произвольный | δ_{10} |
| Пропорциональный: короткий | $5,65 \sqrt{F_0}$ | То же | То же | δ_5 |

* Для обозначения относительного удлинения.

Разрешается применять образцы, имеющие и другие соотношения между l_0



Фиг. 8.

и d_0 (например, для стальных отливок это соотношение равно 2,5). В таких

Таблица 2

Допускаемые отклонения от размеров образца на длине рабочей части

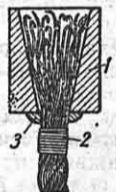
| Диаметр образца в мм | Допускаемое отклонение в мм | |
|----------------------|-----------------------------|--------------------|
| | по диаметру* | по расчетной длине |
| До 10 | $\pm 0,1$ | $\pm 0,1$ |
| Св. 10 | $\pm 0,2$ | $\pm 0,2$ |

* Для литых обработанных образцов допускаемые отклонения удваиваются.

случаях при определении относительного удлинения в протоколе испытаний указывается кратность образца соответствующим индексом у δ .

Размеры и формы головок образцов зависят от конструкции и размеров захватов машины. Сопряжение рабочей части образца с головками должно быть плавным.

При испытании на растяжение стальных тросов концы их разлохмачиваются, отдельные проволоки, из которых состоит трос, загибаются в виде крючков, а весь конец заливается в конусные захваты сплавом, содержащим 50% сурьмы и 50% олова (фиг. 9). Применяют также наведение концов тросов



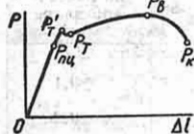
Фиг. 9. Крепление образца стального троса: 1 — головка образца; 2 — оплетка; 3 — глина.

на специальные барабаны с винтовой нарезкой.

Место вырезки, количество и расположение образца на изделии устанавливаются в каждом отдельном случае техническими условиями. Способы изготовления образцов не регламентированы. Необходимо предохранять материал при изготовлении образца от наклепа и нагрева.

Диаграмма растяжения. Разрывные машины снабжаются обычно диаграммными аппаратами, позволяющими записать в процессе испытания на растяжение кривую «нагрузка — деформация», называемую первичной диаграммой растяжения. На фиг. 10 изображена одна

из таких первичных диаграмм, типичных для мягкой углеродистой стали. По оси ординат диаграммы отсчитываются величины нагрузок, а по оси абсцисс — абсолютные удлинения. Характерными



Фиг. 10.

участками и точками этой диаграммы являются:

а) начальный прямолинейный участок $O - P_{nc}$, на котором сохраняется пропорциональность между удлинением материала и нагрузкой (P_{nc} — нагрузка при пределе пропорциональности);

б) точка резкого перегиба кривой P'_T (на диаграммах, образующих в этом месте резкий перегиб в виде зуба, точка P'_T совпадает с его вершиной и носит название нагрузки при верхнем пределе текучести);

в) участок, параллельный оси абсцисс, $P'_T - P_T$ (площадка текучести), в пределах которого удлинение образца происходит при постоянной нагрузке P_T , носящей название нагрузки при пределе текучести (при наличии на диаграмме «зуба» носит название нагрузки при нижнем пределе текучести);

г) точка P_v , отмечающая наибольшую растягивающую силу, — нагрузку при пределе прочности;

д) точка P_k — сила в момент разрушения образца.

От первичной диаграммы переходят к условной диаграмме; для этой цели на оси ординат фиксируют условные напряжения

$$\sigma = \frac{P}{F_0} \text{ кг/мм}^2,$$

где P — нагрузка, замеренная по первичной диаграмме растяжения, в кг; F_0 — площадь поперечного сечения образца перед испытанием в мм².

Напряжения, определяемые по условной диаграмме, соответствующие приведенным выше точкам первичной кривой, характеризуют следующие величины.

Предел прочности при растяжении (или временное сопротивление) $\sigma_{вр}$ — условное напряжение, отвечающее наибольшей нагрузке, предшествовавшей разрушению образца:

$$\sigma_{вр} = \frac{P_v}{F_0} \text{ кг/мм}^2.$$

Предел текучести (физической) σ_T — наименьшее напряжение, при котором, несмотря на продолжающуюся деформацию испытуемого образца, не происходит заметного увеличения нагрузки:

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0} \text{ кг/мм}^2.$$

Предел текучести условный (технический) $\sigma_{0,2}$ — напряжение, при котором остаточная деформация образца достигает 0,2% (допускаются другие величины остаточной деформации, устанавливаемые техническими условиями):

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0} \text{ кг/мм}^2.$$

Предел пропорциональности σ_{nc} — условное напряжение, при котором отступление от линейной зависимости между напряжениями и деформациями достигает определенной степени, устанавливаемой техническими условиями (например, увеличение тангенса угла, образуемого кривой деформаций с осью напряжений, на 10, 25, 50% своего первоначального значения):

$$\sigma_{nc} = \frac{P_{nc}}{F_0} \text{ кг/мм}^2.$$

Предел упругости σ_y — условное напряжение, при котором остаточные деформации впервые достигают некоторой малой величины, характеризующей определенным допуском, устанавливаемым техническими условиями (например, 0,001, 0,003, 0,05, 0,03%):

$$\sigma_y = \frac{P_y}{F_y} \text{ кг/мм}^2.$$

Модуль продольной упругости E — отношение напряжения к соответствующему относительному удлинению в пределах начального (упругого) участка растяжения:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{P l_0}{F_0 \Delta l} \text{ кг/мм}^2.$$

Удлинение образца для определения предела пропорциональности и модуля упругости часто измеряется зеркальным экстензометром, схематически изображенным на фиг. 11. Удлинение подсчитывается по формуле

$$\Delta l = \frac{ac}{2h},$$

где Δl — абсолютное удлинение расчетной части образца; a — наибольшая диагональ призмы экстензометра;

c — изменение отсчета по шкале (среднее арифметическое из отсчетов по двум линейкам); h — расстояние от зеркальца до шкалы (выбирается так, чтобы $\frac{a}{2h} = 1/\epsilon_{00}$).

Для определения предела пропорциональности нагружение образца производят ступенями, измеряя соответствующие каждой ступени деформации, пока не нарушится пропорциональность между нагружением и удлинением, точнее,

пока отклонение от закона пропорциональности не достигнет заданного допуска (см. выше). Напряжение, соответствующее этому допуску отклонения, есть предел пропорциональности.

Действительное сопротивление разрыву s_k — напряжение в шейке растягиваемого образца, определяемое как отношение растягивающей силы, действующей на образец непосредственно перед его разрывом, к площади поперечного сечения образца в шейке:

$$s_k = \frac{P_k}{F} \text{ кг/мм}^2.$$

Относительное удлинение при разрыве δ — выраженное в процентах отношение абсолютного удлинения к расчетной длине образца:

$$\delta = \frac{\Delta l}{l_0} 100\%.$$

Определение абсолютного удлинения Δl производится двумя способами.

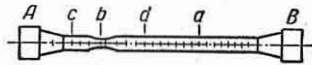
1. На образце перед испытанием откладывают двумя неглубокими кернами или рисками расчетную длину l_0 . После разрыва образца обе его половинки прикладывают друг к другу возможно точнее и измеряют расстояние между ранее нанесенными метками l_1 . Разность $l_1 - l_0$, равная Δl , есть абсолютное удлинение.

2. Расчетную часть образца размечают на равные части (обычно через 5 или 10 мм). Если образец разорвался в средней трети расчетной длины, то абсолютное удлинение подсчитывают первым способом по концевым рискам. Если образец разорвался в одной из крайних третей расчетной длины, то условно относят место разрыва к средней трети,

производя пересчет абсолютного удлинения следующим образом.

Зная число участков n , на которое разбита расчетная длина (фиг. 12), отсчитывают от ближайшей к месту разрыва риски b на большей из частей

разорвавшегося образца $\frac{n}{2}$ участков и ставят метку a . От метки a откладывают в сторону разрыва столько участков, сколько их осталось от метки a до головки B , и ставят метку d . Величину l_1 определяют как сумму отрезков ac и ad . Абсолютное удлинение Δl равно, как прежде, $l_1 - l_0$.



Фиг. 12.

Относительное сужение при разрыве ψ — выраженное в процентах отношение наибольшего уменьшения площади поперечного сечения образца к первоначальной площади его поперечного сечения:

$$\psi = \frac{F_0 - F}{F_0} 100\%.$$

Наибольшее местное удлинение при разрыве δ_{\max} — выраженное в процентах остающееся наибольшее местное удлинение образца в наименьшем сечении шейки при разрыве, вычисленное по сужению (из условия постоянства объема металла при растяжении):

$$\delta_{\max} = \frac{100\psi}{100 - \psi} \%.$$

Диаграмма истинных напряжений. Истинное напряжение s есть отношение действующей в данный момент нагрузки P к действительной в этот момент площади поперечного сечения образца F , т. е.

$$s = \frac{P}{F}.$$

Действительные деформации выражаются обычно в виде поперечного сужения образца в процентах:

$$q = \frac{F_0 - F}{F_0} 100\%.$$

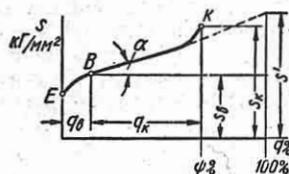
Значение величины q , замеренное после разрыва, обозначается $\psi\%$.

Диаграмма истинных напряжений в координатах $s - q$, типичная для большинства пластичных металлов,

представлена на фиг. 13. Она обладает следующими особенностями.

а) Истинные напряжения непрерывно возрастают с ростом деформации, достигая максимума в момент разрушения образца.

б) Точки E , B , K диаграммы истинных напряжений соответствуют точкам $R_{пц}$, R_v , R_k первичной диаграммы растяже-



Фиг. 13.

ния; отрезок q_v определяет равномерное по всей длине образца сужение, отрезок q_k — сосредоточенное сужение.

в) В пределах сосредоточенной деформации рост истинных напряжений подчиняется прямолинейному закону, а тангенс угла наклона прямой на этом участке ($\text{tg } \alpha$) выражает так называемый коэффициент упрочнения. Чем больше $\text{tg } \alpha$, тем сильнее упрочняется материал при пластической деформации.

г) Продолжение прямолинейного участка до пересечения с условной ординатой, соответствующей $q = 100\%$, отсекает на ней отрезок $s' = 2s_B$.

Испытания на сжатие

Испытанию на сжатие подвергают главным образом чугун, цемент, кирпичную кладку, камни и дерево. Обычно ограничиваются определением предела прочности при сжатии и относительного укорочения.

Пластичные материалы (свинец, мягкая сталь и пр.) не дают разрушения при сжатии, и определение предела прочности для них невозможно.

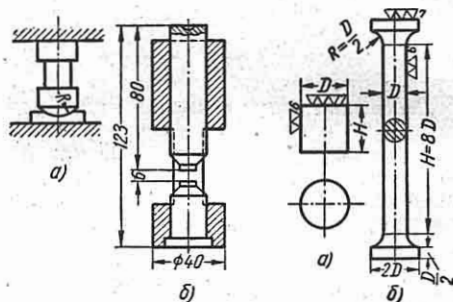
Величина предела прочности из-за действия сил трения по торцам зависит от абсолютных размеров испытуемого образца.

Для испытания на сжатие помимо универсальных машин могут быть использованы пресс Гагарина, машина ИМ-4А, а также разрывные машины с применением реверсоров.

Крупные образцы (колонны, кирпичная кладка и т. д.) испытываются на специальных прессах с гидравлическим приводом и мощностью до нескольких

тысяч тонн. Центрирование образца и равномерное распределение сжимающих сил достигаются с помощью шариковой опоры, помещаемой на одну из плит пресса (фиг. 14, а). Для испытания мелких металлических образцов на сжатие пользуются направляющим приспособлением, в котором сжимающий шток притерт к направляющей втулке (фиг. 14, б).

Рекомендуются нормальные образцы (фиг. 15, а) диаметром 10—25 мм и высотой H , равной диаметру. Распространены образцы $D = 6$ мм и $H = 6$ мм, $D = 10$ мм и $H = 15$ мм, применяющиеся для испытания на сжатие литых чугунных деталей. Для исследовательских целей, когда требуется определять модуль упругости, предел пропорциональности и предел текучести металлов,



Фиг. 14.

Фиг. 15.

употребляют удлиненный образец (фиг. 15, б) высотой $H = 8D$. Торцевые поверхности таких образцов должны быть отшлифованы строго параллельно.

Испытания на изгиб

Испытания металла на изгиб осуществляются на образцах главным образом круглого или прямоугольного поперечного сечения, положенных на две опоры и нагружаемых медленно возрастающей нагрузкой. Последняя может быть приложена по середине пролета (фиг. 16) сосредоточенной силой или в двух точках (фиг. 17) на одинаковых расстояниях от опор двумя равными силами. В первом случае эпюра моментов имеет вид треугольника; максимальный момент

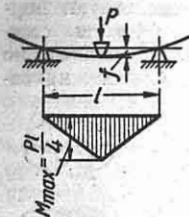
$$M_{\max} = \frac{Pl}{4} \quad (1)$$

находится на линии действия силы P . При второй схеме нагружения эпюра

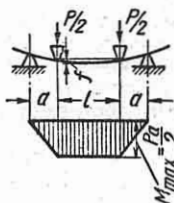
моментов представляет собой трапецию; максимальный момент

$$M_{\max} = \frac{Pa}{2} \quad (2)$$

постоянен для всех сечений между точками приложения сил $\frac{P}{2}$ (чистый изгиб).



Фиг. 16.



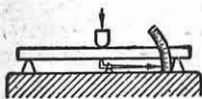
Фиг. 17.

Наибольшие изгибающие напряжения подсчитываются по формуле

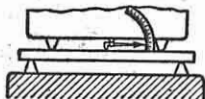
$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W}, \quad (3)$$

где W — момент сопротивления поперечного сечения образца.

Деформация при изгибе проявляется в виде прогиба образца, мерой которого служит стрела прогиба. С помощью прогибомеров, схематично изображенных для обоих случаев нагружения на фиг. 18 и 19. стрела прогиба может



Фиг. 18.



Фиг. 19.

быть легко отсчитана. Напряжения и стрела прогиба при изгибе могут быть определены по диаграмме в координатах нагрузка (изгибающий момент) — стрела прогиба.

На фиг. 20 изображены кривые изгиба. Подсчет напряжений по формуле (3) с известным приближением допустим лишь для чугуна и закаленной стали (формула справедлива в упругой области), для которых возможно определение предела прочности при изгибе $\sigma_{\text{ви}}$. Для пластичных материалов ограничиваются соотношением изгибающих моментов и соответствующих прогибов не только потому, что формула (3) неприменима в области пластических дефор-

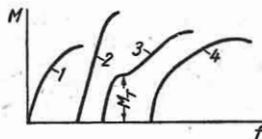
маций, но также из-за невозможности разрушить эти материалы при изгибе.

Предел текучести при изгибе определяют при наличии на диаграмме площадки текучести (кривая 3 на фиг. 20) по ординате M_T :

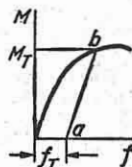
$$\sigma_{Tи} = \frac{M_T}{W}. \quad (4)$$

Отсутствие площадки текучести (кривая 4 на фиг. 20) вынуждает задаваться таким допуском $\delta Tи$ на величину остаточной стрелы прогиба f_T , при котором деформация внешних волокон при изгибе соответствует таковой при растяжении (обычно 0,2%).

Стрелу прогиба, соответствующую пределу текучести при изгибе $\sigma_{Tи}$, для



Фиг. 20. Кривые изгиба: 1 — чугун; 2 — закаленная сталь; 3 — мягкая углеродистая сталь; 4 — средне- и высокоуглеродистая сталь.



Фиг. 21.

первой схемы нагружения (см. фиг. 16) подсчитывают условно по формуле

$$f_T = \frac{l^2 \delta Tи}{6h}, \quad (5)$$

а для второй схемы нагружения (фиг. 17) — по формуле

$$f_T = \frac{l^2 \delta Tи}{4h}, \quad (6)$$

где f_T — стрела прогиба при пределе текучести; $\delta Tи$ — допуск на величину остаточной относительной деформации растяжения внешних волокон; l — расстояние между опорами по первой схеме и длина участка образца с постоянным моментом по второй схеме нагружения; h — высота образца.

По оси абсцисс кривой изгиба (фиг. 21) откладывают подсчитанную по формулам (5) или (6) величину стрелы прогиба f_T , проводя прямую ab параллельно начальному участку кривой, определяют ординату M_T , а по формуле (4) рассчитывают предел текучести при изгибе $\sigma_{Tи}$.

Диаграмму изгиба в координатах нагрузка (изгибающий момент) — стрела прогиба можно записать автоматически только при нагружении сосредоточенной

силой. Кривую изгиба от нагружения по второй схеме строят по точкам.

Величины пределов текучести при изгибе получаются большими, чем при растяжении.

Стандартные испытания чугуна на изгиб. Для серого литейного чугуна испытания на изгиб являются основными. Образцы чугуна изготавливаются отливкой и испытываются в литом необработанном виде по схеме фиг. 16. Употребляются образцы: 1) диаметром 30 мм и длиной 680 мм и 2) диаметром 30 мм и длиной 340 мм. Допуск по диаметру установлен ± 1 мм. Расстояния между опорами соответственно равны 600 и 300 мм.

При испытании чугуна на изгиб может быть использована любая испытательная машина, допускающая отсчет нагрузок с погрешностью не более $\pm 1,0\%$. Определяются предел прочности при изгибе ($\sigma_{ви}$) и максимальная стрела прогиба f . При этом для образцов круглого сечения формула (3) приобретает вид

$$\sigma_{ви} = \frac{Pl}{0,4d^3} \text{ кг/мм}^2,$$

где P — сосредоточенная сила в момент разрушения в кг; l — расстояние между опорами в мм; d — диаметр образца в мм.

Стрела прогиба образца в момент разрушения может быть определена по диаграмме, полученной на регистрирующих аппаратах машины, или замерена специальным прогибомером. Прогиб контрольного образца определяется с точностью не ниже 0,5 мм.

Испытания на кручение

Скручивание цилиндрического образца осуществляется приложением в конечных сечениях рабочей части двух равных, но противоположно направленных моментов перпендикулярно оси образца. На фиг. 22 приведено распределение напряжений при кручении. Элемент $abcd$ цилиндрической поверхности диска, вырезанного из образца, находится при испытании на кручение в условиях чистого сдвига; относительный сдвиг γ плоскостей, находящихся друг от друга на расстоянии dx , равен

$$\gamma = \frac{1}{2} \theta dx,$$

где $\theta = \frac{d\varphi}{dx}$ — угол скручивания на единицу длины; d — диаметр образца.

Напряжения сдвига

$$\tau = \gamma G = \frac{1}{2} G \theta d \text{ кг/мм}^2,$$

(где G — модуль сдвига) действуют в продольных и поперечных сечениях. Их величина пропорциональна расстоянию от оси цилиндра (фиг. 22, а).

В скручиваемом цилиндре наряду с напряжениями сдвига действуют нормальные растягивающие $+\sigma$ и сжимающие $-\sigma$ напряжения, равные по абсолютной величине. Своих максимальных значений они достигают в площадках, наклоненных под углом 45° к оси (фиг. 22, в).

Разрушение образца от касательных напряжений при скручивании происходит по плоскости, перпендикулярной к оси, а от нормальных напряжений (для чугуна, закаленной стали и т. п.) — по винтовой линии.

Расчет напряжений и деформаций при кручении в упругой области производится по обычным формулам сопротивления материалов.

Для сплошных образцов

$$\tau_{\max} = \frac{Md}{2J_p} = \frac{16M}{\pi d^3}; \quad (7)$$

$$\varphi = \frac{32Ml_0}{G\pi d^4}; \quad (8)$$

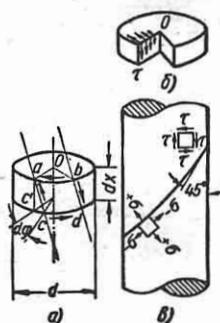
$$\gamma = \varphi \frac{d}{2l_0}. \quad (9)$$

Для трубчатых образцов

$$\tau = \frac{16M}{\pi d^3 \left(1 - \frac{d_1^4}{d^4}\right)}; \quad (10)$$

$$\varphi = \frac{32Ml_0}{\pi (d^4 - d_1^4) G}, \quad (11)$$

где d и d_1 — наружный и внутренний (для труб) диаметры образца в мм; J_p — полярный момент инерции; l_0 — расчетная длина образца в мм; M — крутящий момент в кг мм; φ — угол закручивания на длине l_0 .



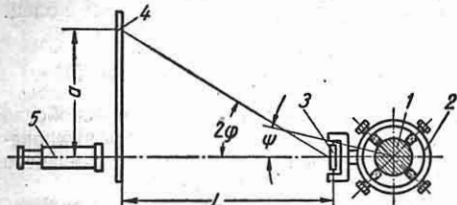
Фиг. 22.

Формулами (7) и (10) пользуются для грубых расчетов и за пределами упругой зоны, подсчитывая условные напряжения (ГОСТ 3565-47).

Технический предел пропорциональности при кручении $\tau_{пл}$ — касательное напряжение, при котором отступление от линейной зависимости между напряжениями и деформациями по поверхности образца достигает такой величины, что тангенс угла, образуемого касательной к точке кривой деформации и осью напряжения, превышает первоначальное значение на 50%.

Предел текучести при кручении $\tau_{0,3}$ — касательное напряжение, при котором образец получает остаточный сдвиг, равный 0,3%.

Предел прочности при кручении τ_b — касательное напряжение, отвечающее наибольшему скручивающему моменту.



Фиг. 23.

предшествовавшему разрушению образца. Определение предела пропорциональности $\tau_{пл}$ и модуля сдвига G производится путем точного измерения деформации при кручении зеркальным тензоскопом, схематично представленным на фиг. 23. На скручиваемом образце 1 с помощью колец 2 устанавливают два зеркала 3 на расстоянии, равном расчетной длине образца l_0 . Углы закручивания φ отмечаются на шкалах, соответствующих зеркальцам линеек 4, через оптические трубы 5. Расстояние L от зеркалец до линеек обычно принимается равным 1000, 1500 или 2000 мм.

Относительный угол закручивания φ_n — отношение разности углов поворота двух поперечных сечений образца к расстоянию между ними — определяется по формуле

$$\varphi_n = \frac{\varphi_1 - \varphi_0}{l_0}$$

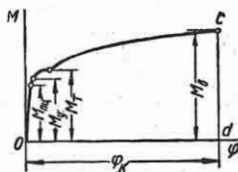
Диаграмма кручения строится в координатах крутящий момент — угол закручивания. На фиг. 24 приведена диа-

грамма кручения мягкой стали с площадкой текучести. Характерные точки $M_{пл}$, $M_{уп}$, M_T и M_b диаграммы выражают в некотором масштабе величины крутящих моментов, соответствующих пределам пропорциональности, упругости, текучести и прочности. Подсчет истинных напряжений в пластической области производят по формуле

$$\tau = \frac{4}{\pi d^3} \left(3M + \theta \frac{dM}{d\theta} \right),$$

где $\theta = \frac{\varphi}{l_0}$ — угол закручивания на единицу длины; M — крутящий момент в кг·м·м; d — диаметр образца в мм. Производную $\frac{dM}{d\theta}$ определяют графически. Для этой цели удобно пользоваться зеркальной линейкой (фиг. 25).

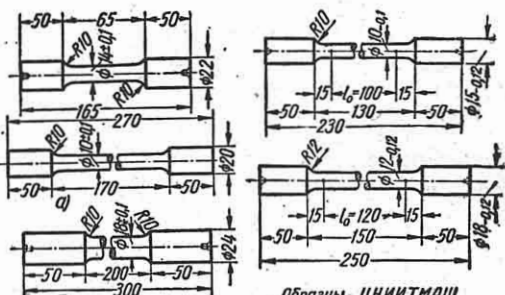
Образцы и машины для испытания на кручение. Форма головок образца зависит от конструкции захватов испы-



Фиг. 24.



Фиг. 25.



Образцы ЦНИИТМАШ

Образцы ВИАМ

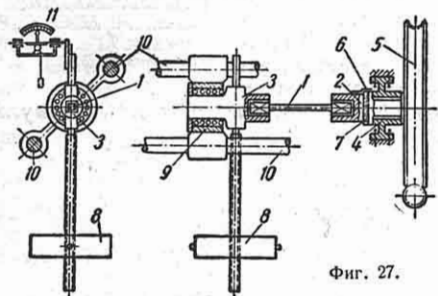


Образец с квадратной головкой

Фиг. 26.

тательной машины и может быть выполнена цилиндрической, цилиндрической с лыской и квадратной. На фиг. 26

изображены типовые образцы для испытания на кручение. Кручение осуществляют главным образом на испытательных машинах горизонтального типа с механическим приводом. На схеме фиг. 27 изображена машина на 600 кгМ. Образец 1 крепится в захватах 2 и 3. Скручивание образца достигается вращением захвата 2, сидящего на одной



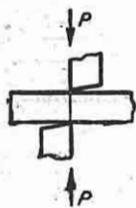
Фиг. 27.

оси с червячным колесом 5. Угол поворота отсчитывается по положению указателя 6 шкалы 7, укрепленной на корпусе подшипника 4. Подвижной захват 10 перемещением по направляющим 10 устанавливается соответственно длине образца. Подвешенный к захвату маятник 8, вращаясь вместе с ним в подшипнике 9, уравновешивает крутящий момент, приложенный к образцу. Стрелка, связанная с маятником, указывает на шкале 11, градуированной в кгМ, величину крутящего момента.

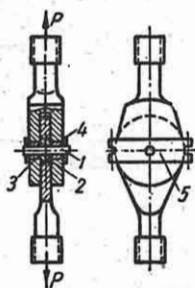
Испытания на срез

Схемы испытания на срез представлены на фиг. 28 и 29.

Явление чистого сдвига при срезе осложняется изгибом и смятием



Фиг. 28.



Фиг. 29.

испытуемого материала, поэтому испытания на срез пригодны для его приближенной оценки.

Сопrotивление срезу подсчитывается по условным формулам:

$$\tau = \frac{P}{F}$$

(для среза по схеме фиг. 28) и

$$\tau = \frac{P}{2F}$$

(при двойном срезе), где P — срезающая сила в кг; F — площадь поперечного сечения образца в мм².

Фиг. 29 дает представление об испытании на двойной срез. Образец 1 вставляется в закаленные стальные кольца 2, 3 и 4, к которым он тщательно пригнан. Зажим 5 служит для прижатия колец друг к другу.

Резьбовые головки приспособления крепятся в захватах разрывной машины. Величина сопротивления срезу зависит от диаметра образца и толщины колец.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ

Под твердостью понимают свойство материала сопротивляться проникновению в него другого, не получающего остаточных деформаций, тела.

Величина твердости и ее размерность для одного и того же материала зависят от примененного метода измерения.

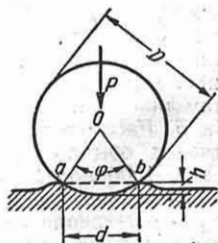
Пересчет значений твердости, определенных различными методами, производится по таблицам и эмпирическим формулам. Методы измерения твердости делятся на статические и динамические.

Статические методы. Твердость по Бринелю определяется вдавливанием стального закаленного шарика, обычно диаметром 10 мм, силой P в кг в поверхность испытуемого материала. Схема вдавливания шарика изображена на фиг. 30. Мерой твердости служит величина

$$H_B = \frac{P}{F},$$

где F — площадь поверхности сферического отпечатка в мм², вычисляемая по формуле

$$F = \frac{\pi D^2}{2} - \frac{\pi D}{2} \sqrt{D^2 - d^2}, \quad (12)$$



Фиг. 30.

отсюда

$$H_B = \frac{P}{D^2} \left(\frac{\frac{2}{\pi}}{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2}} \right), \quad (13)$$

где D — диаметр шарика в мм; d — диаметр отпечатка в мм.

Толщина изделия под отпечатком должна быть не меньше десятикратной глубины последнего, расстояние от центра отпечатка до края — не меньше D , а от центров соседних отпечатков — больше $2D$. Эти условия ограничивают область применения шарика диаметром 10 мм и требуют использования шариков меньших размеров и применения меньшей силы вдавливания.

При любом (не слишком малом) диаметре шарика для одного и того же материала твердость по Бринелю получается одинаковой, если угол вдавливания φ (центральный угол между радиусами шарика, проведенными к концам диаметра отпечатка) остается постоянным или, что то же (фиг. 30),

$$\frac{d}{D} = \sin \frac{\varphi}{2} = \text{const.}$$

Твердость данного материала, замеренная шариками разных диаметров, будет неизменна, если $\frac{P}{D^2} = K = \text{const.}$

Признаком правильности выбора величины K служит отношение

$$0,2D < d < 0,6D.$$

Соотношения между стандартными диаметрами шариков, толщиной материала и стандартными нагрузками для разных групп материалов даны в табл. 3.

Таблица 3

Соотношения между стандартными диаметрами шариков, толщиной материала и нагрузками

| Толщина образца в мм | Диаметр шарика в мм | Нагрузка P в кг для | | |
|----------------------|---------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| | | чугуна и стали $K = \frac{P}{D^2} = 30$ | меди, латуни, бронзы и т. п. $K = \frac{P}{D^2} = 10$ | мягких сплавов $K = \frac{P}{D^2} = 2,5$ |
| > 6 | 10 | 3000 | 1000 | 250 |
| $6-3$ | 5 | 750 | 250 | 62,5 |
| < 3 | 2,5 | 187,5 | 62,5 | 15,6 |

Диаметры отпечатков измеряются по двум взаимно перпендикулярным направлениям. Точность измерения отпечатков, полученных вдавливанием шариков 10 и 5 мм, должна быть $\pm 0,05$ мм, а при вдавливании шарика 2,5 мм $\pm 0,01$ мм.

Время выдержки под нагрузкой принято 15 сек. для твердых материалов и 30 сек. для мягких материалов.

По формуле (13) составлена таблица (см. табл. 6), позволяющая легко определить твердость H_B по замеренному отпечатку для разных P и D .

Величины твердости материала H_B и предел прочности при растяжении $\sigma_{вр}$ связаны между собой следующей приближенной зависимостью:

$$\sigma_{вр} \approx \frac{1}{3} H_B,$$

которая справедлива для пластичной ковальной стали.

Определение твердости по Бринелю может быть произведено на любой испытательной машине, пригодной для создания и точного ($\pm 1,0\%$) измерения сжимающих нагрузок и допускающей выдержку образца под нагрузкой заданное время. Однако для удобства и быстроты испытания пользуются специальными прессами

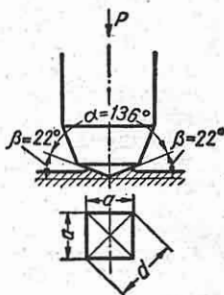
Определение твердости алмазной пирамидой (схема приведена на фиг. 31) осуществляется вдавливанием четырехгранной квадратной алмазной пирамиды с углом между противоположными гранями $\alpha = 136^\circ \pm 30''$ в поверхность испытуемого тела перпендикулярно к ней.

Нагрузка выбирается в пределах 1—120 кг. Рекомендуемые нагрузки 5, 10, 20, 30, 50, 100 и 120 кг.

Мерой твердости служит величина

$$H_n = \frac{P}{F} = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} \text{ кг/мм}^2,$$

где P — нагрузка в кг; F — поверхность пирамидального отпечатка в мм²; d — средняя арифметическая обеих диагоналей отпечатка в мм; α — угол при



Фиг. 31.

вершине между противоположными гранями пирамиды.

При $\alpha = 136^\circ$

$$H_n = 1,8544 \frac{P}{d^2}.$$

Применением алмазной пирамиды обеспечивается постоянство угла вдавливания φ при любой величине отпечатка, и для одного и того же материала число твердости не зависит от силы вдавливания (в пределах 5—120 кгГ). Выбор угла $\alpha = 136^\circ$ объясняется стремлением получить возможно полное совпадение чисел твердости H_n с твердостью по Бринеллю H_B .

Диаметры отпечатков d и углы вдавливания φ при определении H_B колеблются в пределах $0,2D < d < 0,6D$; $24^\circ < \varphi < 75^\circ$.

Для получения такого же угла вдавливания при испытании алмазной пирамидой угол между противоположными гранями пирамиды должен быть $105^\circ < \alpha < 156^\circ$.

Как среднее значение принят $\alpha = 136^\circ$, а угол вдавливания $\varphi = 44^\circ$.

Совпадение чисел твердости H_B и H_n наблюдается только для значений $H_B \leq 400$ (см. табл. 6).

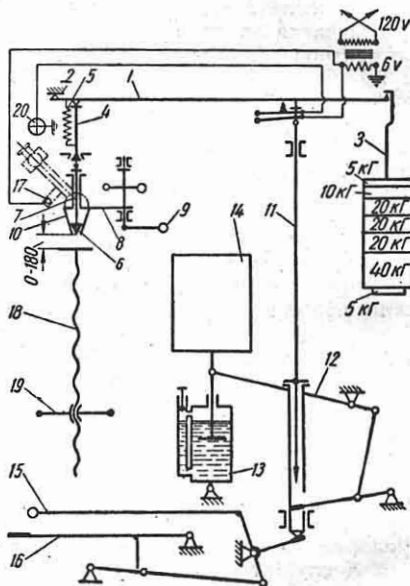
Небольшая глубина проникновения алмазной пирамиды $h \approx \frac{d}{7}$ позволяет испытывать изделия малой толщины (до 0,3 мм). Для закаленной стали глубина h не превышает 0,015 мм, что дает возможность измерять твердость деталей с поверхностной термообработкой (цементацией, поверхностной закалкой, азотированием и пр.). В табл. 4 указаны рекомендуемые нагрузки для испытания металлов различной толщины и твердости.

Таблица 4

Рекомендуемые нагрузки для испытания металлов на приборе НВ в кгГ

| Толщина образца в мм | Твердость H_n | | | |
|----------------------|-----------------|--------|-----------|---------|
| | 25—50 | 50—100 | 100—300 | 300—900 |
| 0,3—0,5 | — | — | — | 5—10 |
| 0,5—1 | — | — | 5—10 | 10—20 |
| 1—2 | 5—10 | 5—10 | 10—20 | 10—20 |
| 2—4 | 10—20 | 20—50 | 20—50 | 20—50 |
| 4 и выше | 20—50 | 30—50 | 50 и выше | 50—120 |

На фиг. 32 представлена схема прибора типа НВ завода ГЗИП для измерения твердости алмазной пирамидой. Испытуемая деталь укладывается на предметный столик подъемного винта 18 и маховичком 19 поджимается к чехлу 10, внутри которого помещается рабочий шпиндель с алмазным наконечником 6. Зазор между испытуемой поверхностью и пирамидой равен 0,1—0,3 мм.



Фиг. 32.

Нагрузка на наконечник передается от сменных грузов, висящих на подвижке 3, посредством толкателя 4 с пружиной 5, рычагом 1 с соотношением плеч 1 : 25, установленным на призме 2.

Перед началом испытания нажатием педали 16 с помощью рычагов 11 и 12 производится взвод грузового привода 14. Грузовой привод снабжен масляным амортизатором 13, позволяющим удерживать изделие под нагрузкой в пределах от 10 до 30 сек. Назначение грузового привода — автоматизация операций испытания: наложения нагрузки, выдержки под нагрузкой и снятия ее за счет энергии опускающегося груза 14. Наложение нагрузки производится опусканием рукоятки 15 и контролируется зажиганием сигнальной лампочки 20, горящей в продолжение выдержки под нагрузкой.

После снятия нагрузки (сигнальная лампочка погасла) поворотом рукоятки 9 вправо совмещают ось сидящего на головке 8 микроскопа 7 с центром ромбического отпечатка. Измерение диагоналей отпечатка осуществляется микрометрической головкой, расположенной у окуляра микроскопа. Освещение поля зрения производится иллюминатором 17.

По величине диагонали для выбранной нагрузки определяются числа твердости по прилагаемым к прибору таблицам.

Определение твердости по Роквеллу отличается от ранее описанных методов измерения твердости вдавливанием тремя особенностями:

1) совмещением операций вдавливания наконечника и измерения величины отпечатка, что ускоряет и автоматизирует процесс испытания;

2) применением в качестве наконечника, наряду с шариком, алмазного конуса;

3) число твердости по Роквеллу выражается в условных единицах, соответствующих разности глубин проникновения наконечника под действием основной и предварительной нагрузок.

Алмазный конус с углом $120^\circ \pm 1,5^\circ$ и радиусом закругления у вершины $0,2 \pm 0,02$ мм применяется для испытаний твердой закаленной стали. Менее твердые материалы испытываются при помощи стального шарика диаметром $1/16''$.

Вдавливание наконечника осуществляется в два приема. Вначале прикладывается предварительная нагрузка $P_0 = 10$ кг, а затем основная P , равная для шарика 100 кг (красная шкала В индикатора прибора) и для конуса 150 кг (черная шкала С). Число твердости (R_B или R_C) отсчитывается по соответствующей шкале после сбрасывания основной нагрузки (предварительная нагрузка остается).

Шкала индикатора имеет 100 делений (цена деления 0,002 мм), что соответствует глубине вдавливания 0,2 мм. Красная шкала смещена на 30 делений относительно черной.

Допускается применение алмазного конуса при основной нагрузке $P = 60$ кг (при $P_0 = 10$ кг). Отсчеты производятся по черной шкале, число твердости обозначается R_A .

Интервалы твердости, внутри которых рекомендуется пользоваться той или иной шкалой, указаны в табл. 5.

Испытание тонких слоев производится на приборе типа Роквелла с предвари-

Таблица 5
Интервалы твердости, внутри которых рекомендуется пользоваться разными шкалами

| Твердость по Бринелю H_B | Обозначение шкалы Роквелла | Наконечник | Основная нагрузка P в кг | Обозначение числа твердости | Допустимые пределы шкалы Роквелла |
|----------------------------|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 60—230 | Красная В | Стальной шарик $\varnothing 1/16''$ | 100 | R_B | 25—100 |
| 230—700 | Черная С | Алмазный конус То же | 150 | R_C | 20—67 |
| Св. 700 | Черная А | То же | 60 | R_A | Св. 70 |

тельной нагрузкой $P_0 = 3$ кг, основными $P = 15, 30$ и 45 кг. Соответствующие шкалы обозначаются при испытании шариком диаметром $1/16''$ 15-T, 30-T и 45-T, при испытании алмазным конусом 15-N, 30-N и 45-N.

Величины твердости по Роквеллу, замеренные по разным шкалам, несравнимы между собой, поэтому в протоколах указываются условия испытания.

Для перевода значений R_B в R_C можно пользоваться формулами

$$H_B = \frac{a}{130 - R_B},$$

где a — постоянная, равная 7300 для шкалы В, и

$$H_B = \frac{a - 10(57 - R_C)^2}{100 - R_C},$$

где $a = 25000$ для шкалы С.

Сравнение чисел твердости по Роквеллу с величинами, определенными другими способами, см. табл. 6.

Испытуемый образец должен иметь ровную и гладкую поверхность, плотно стоять на предметном столе и не прогибаться при испытании. Опорная поверхность не должна иметь заусенцев, окислы и пр. Испытание твердости на кривых поверхностях допускается при радиусе, не меньше 5 мм. Толщина изделия под отпечатком должна быть не меньше 10 глубин вдавливания h . Последняя может быть подсчитана по формулам

$$h = 0,002(130 - R_B);$$

$$h = 0,002(100 - R_C).$$

Расстояние между центрами соседних отпечатков и до края изделия при испытании по шкалам А и С берется больше 2,5 мм, по шкале В — больше 4 мм

Таблица 6

Таблица перевода значений твердости *

| Роквелл | | | Бринель | | | | | | Твердость по пирамиде | Твердость по отскоку | |
|---------------------------------|-----|----|------------------------|---------------|---------|--------|--------------|--------|-----------------------|----------------------|----------|
| Алмазный конус с нагрузкой в кг | | | Диаметр отпечатка в мм | Шарик Ø 10 мм | | | Шарик Ø 5 мм | | | | |
| 150 | 100 | 60 | | 3000 кг | 1000 кг | 500 кг | 750 кг | 250 кг | | | 187,5 кг |
| — | — | — | 2,00 | 946 | 315 | 158 | 229 | 76,3 | 57,3 | — | — |
| — | — | — | 2,05 | 898 | 298 | 150 | 217 | 72,4 | 54,3 | — | — |
| — | — | — | 2,10 | 875 | 286 | 143 | 207 | 68,8 | 51,6 | — | — |
| — | — | — | 2,15 | 817 | 273 | 136 | 196 | 65,5 | 49,3 | — | — |
| 72 | 82 | 89 | 2,20 | 782 | 261 | 130 | 187 | 62,4 | 46,8 | 1220 | 107 |
| 69 | 80 | 87 | 2,25 | 744 | 248 | 124 | 178 | 59,5 | 44,5 | 1114 | 100 |
| 67 | 78 | 85 | 2,30 | 713 | 238 | 119 | 170 | 56,8 | 42,6 | 1021 | 96 |
| 65 | 76 | 84 | 2,35 | 683 | 227 | 114 | 162 | 54,2 | 40,8 | 940 | 92 |
| 63 | 74 | 83 | 2,40 | 652 | 218 | 109 | 156 | 51,9 | 39,0 | 867 | 88 |
| 61 | 72 | 82 | 2,45 | 627 | 209 | 105 | 149 | 49,6 | 36,3 | 803 | 85 |
| 59 | 71 | 81 | 2,50 | 600 | 200 | 100 | 143 | 47,5 | 35,7 | 746 | 81 |
| 58 | 69 | 80 | 2,55 | 578 | 193 | 96 | 137 | 45,5 | 34,2 | 694 | 78 |
| 56 | 68 | 79 | 2,60 | 555 | 185 | 93 | 131 | 43,6 | 32,7 | 649 | 75 |
| 54 | 67 | 78 | 2,65 | 532 | 178 | 89 | 126 | 41,8 | 31,5 | 606 | 72 |
| 52 | 65 | 77 | 2,70 | 512 | 171 | 86 | 121 | 40,2 | 30,3 | 587 | 70 |
| 51 | 64 | 76 | 2,75 | 495 | 166 | 83 | 116 | 38,6 | 29,1 | 551 | 68 |
| 49 | 63 | 76 | 2,80 | 477 | 159 | 80 | 111 | 37,1 | 27,9 | 534 | 66 |
| 48 | 62 | 75 | 2,85 | 460 | 153 | 77 | 107 | 35,7 | 26,8 | 502 | 64 |
| 47 | 61 | 74 | 2,90 | 444 | 148 | 74 | 103 | 34,3 | 25,8 | 474 | 61 |
| 45 | 60 | 73 | 2,95 | 430 | 144 | 73 | 99,1 | 33,0 | 24,9 | 460 | 59 |
| 44 | 59 | 73 | 3,00 | 418 | 140 | 70 | 96,5 | 31,8 | 24,0 | 435 | 57 |
| 43 | 58 | 72 | 3,05 | 402 | 134 | 67 | 92,0 | 30,6 | 22,9 | 423 | 55 |
| 41 | 57 | 71 | 3,10 | 387 | 129 | 65 | 88,7 | 29,6 | 22,1 | 401 | 53 |
| 40 | 56 | 71 | 3,15 | 375 | 125 | 63 | 85,5 | 28,5 | 21,4 | 390 | 52 |
| 39 | 55 | 70 | 3,20 | 364 | 121 | 61 | 82,4 | 27,5 | 20,7 | 380 | 50 |
| 38 | 54 | 69 | 3,25 | 351 | 117 | 59 | 79,5 | 26,5 | 19,9 | 361 | 49 |
| 37 | 53 | 69 | 3,30 | 340 | 114 | 57 | 76,8 | 25,6 | 19,2 | 344 | 47 |
| 36 | 52 | 68 | 3,35 | 332 | 111 | 55 | 74,1 | 24,7 | 18,5 | 335 | 46 |
| 35 | 52 | 68 | 3,40 | 321 | 107 | 54 | 71,6 | 23,9 | 18,0 | 320 | 45 |
| 34 | 51 | 67 | 3,45 | 311 | 104 | 52 | 69,1 | 23,0 | 17,2 | 312 | 44 |
| 33 | 50 | 67 | 3,50 | 302 | 101 | 50 | 66,8 | 22,3 | 16,8 | 305 | 42 |
| 31 | 49 | 66 | 3,55 | 293 | 98 | 49 | — | — | — | 291 | 41 |
| 30 | 49 | 66 | 3,60 | 286 | 95 | 48 | — | — | — | 285 | 40 |
| 29 | 48 | 65 | 3,65 | 277 | 92 | 46 | — | — | — | 278 | 39 |
| 28 | 47 | 65 | 3,70 | 269 | 90 | 45 | — | — | — | 272 | 38 |
| 27 | 46 | 64 | 3,75 | 262 | 88 | 44 | — | — | — | 261 | 37 |
| 26 | 45 | 64 | 3,80 | 255 | 85 | 43 | — | — | — | 255 | 36 |
| 25 | 45 | 63 | 3,85 | 248 | 83 | 41 | — | — | — | 250 | 36 |

| Роквелл | | | | Бринель | | | Твердость по пирамиде | Твердость по отскоку | |
|--------------------------------|---------------------------------|-----|----|------------------------|---------------|---------|-----------------------|----------------------|--------|
| Шарик Ø 1/16", нагрузка 100 кг | Алмазный конус с нагрузкой в кг | | | Диаметр отпечатка в мм | Шарик Ø 10 мм | | | | |
| | 150 | 100 | 60 | | 3000 кг | 1000 кг | | | 500 кг |
| 100 | 24 | 44 | 63 | 3,90 | 241 | 81 | 40 | 240 | 35 |
| 99 | 23 | 43 | 62 | 3,95 | 235 | 78 | 39 | 235 | 34 |
| 98 | 22 | 42 | 62 | 4,00 | 228 | 76 | 38 | 226 | 33 |
| 97 | 21 | 41 | 61 | 4,05 | 223 | 75 | 37 | 221 | 33 |
| 97 | 20 | 40 | 61 | 4,10 | 217 | 73 | 36 | 217 | 32 |

* Указанные в таблице значения твердости по Роквеллу, по пирамиде и по отскоку соответствуют значениям твердости по Бринелю, определенным с шариком диаметром 10 мм при нагрузке 3000 кг.

Продолжение табл. 6

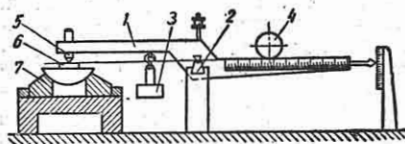
| Шарик Ø 1/16", нагру- зка 100 кг | Роквелл | | | Диаметр отпеча- тката в мм | Бринель | | | Твер- дость по пи- рамиде | Твер- дость по от- скоку |
|----------------------------------------------|--------------------------------------|-----|----|-------------------------------------|---------------|---------|--------|------------------------------------|-----------------------------------|
| | Алмазный конус с нагру- жкой в кг | | | | Шарик Ø 10 мм | | | | |
| | 150 | 100 | 60 | | 3000 кг | 1000 кг | 500 кг | | |
| 96 | 19 | 40 | 60 | 4,15 | 212 | 71 | 35 | 213 | 31 |
| 95 | 18 | 39 | 60 | 4,20 | 207 | 69 | 34,5 | 209 | 30 |
| 94 | — | 38 | 59 | 4,25 | 202 | 67 | 33,5 | 201 | 30 |
| 93 | — | 37 | 58 | 4,30 | 196 | 65 | 32,5 | 197 | 29 |
| 92 | — | 36 | 58 | 4,35 | 192 | 64 | 32,0 | 190 | 29 |
| 91 | — | 35 | 57 | 4,40 | 187 | 63 | 31,2 | 186 | 23 |
| 89 | — | 34 | 56 | 4,45 | 183 | 61 | 30,4 | 183 | 28 |
| 88 | — | 34 | 56 | 4,50 | 179 | 60 | 29,7 | 177 | 27 |
| 87 | — | 33 | 55 | 4,55 | 174 | 58 | 29,1 | 174 | 27 |
| 86 | — | — | — | 4,60 | 170 | 57 | 28,4 | 170 | 26 |
| 85 | — | — | — | 4,65 | 166 | 56 | 27,8 | 166 | 26 |
| 84 | — | — | — | 4,70 | 163 | 54 | 27,2 | 163 | 25 |
| 83 | — | — | — | 4,75 | 159 | 53 | 26,5 | 159 | 25 |
| 82 | — | — | — | 4,80 | 156 | 52 | 25,9 | 156 | 24 |
| 81 | — | — | — | 4,85 | 153 | 51 | 25,4 | 153 | 24 |
| 80 | — | — | — | 4,90 | 149 | 50 | 24,9 | 149 | 23 |
| 79 | — | — | — | 4,95 | 146 | 49 | 24,4 | 146 | 23 |
| 78 | — | — | — | 5,00 | 143 | 48 | 23,8 | 143 | 22 |
| 77 | — | — | — | 5,05 | 140 | 47 | 23,3 | 140 | 21 |
| 75 | — | — | — | 5,10 | 137 | 46 | 22,8 | 137 | 21 |
| 74 | — | — | — | 5,15 | 134 | 45 | 22,3 | 134 | 19 |
| 73 | — | — | — | 5,20 | 131 | 44 | 21,8 | 131 | 19 |
| 72 | — | — | — | 5,25 | 128 | 43 | 21,5 | 128 | 19 |
| 71 | — | — | — | 5,30 | 126 | 42 | 21,0 | 126 | 19 |
| 70 | — | — | — | 5,35 | 124 | 41 | 20,6 | 124 | 19 |
| 68 | — | — | — | 5,40 | 121 | 40 | 20,1 | 121 | 19 |
| 67 | — | — | — | 5,45 | 118 | 39 | 19,7 | 118 | 19 |
| 65 | — | — | — | 5,50 | 116 | 38,5 | 19,3 | 116 | 19 |
| 64 | — | — | — | 5,55 | 114 | 38,0 | 19,0 | 114 | 18 |
| 63 | — | — | — | 5,60 | 112 | 37,0 | 18,6 | 112 | 18 |
| 61 | — | — | — | 5,65 | 109 | 36,0 | 18,2 | 109 | 18 |
| 60 | — | — | — | 5,70 | 107 | 35,5 | 17,8 | 107 | 18 |
| 58 | — | — | — | 5,75 | 105 | 35,0 | 17,5 | 105 | 18 |
| 57 | — | — | — | 5,80 | 103 | 34,0 | 17,2 | 103 | 18 |
| 56 | — | — | — | 5,85 | 101 | 33,5 | 16,9 | 101 | 17 |
| 55 | — | — | — | 5,90 | 99 | 33,0 | 16,6 | 99 | 17 |
| 53 | — | — | — | 5,95 | 97 | 32,5 | 16,2 | 97 | 17 |
| 51 | — | — | — | 6,00 | 95 | 32,0 | 15,9 | 95 | 17 |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

43676

При определении твердости методом царапания, в отличие от методов определения твердости вдавливанием того или иного наконечника, происходят не только упругая и пластическая деформации испытуемого материала, но и местное разрушение его.

Схема прибора для определения твердости царапанием приведена на фиг. 33. Нанесение царапины на поверхность образца 6 производится алмазным конусом 5 с углом у вершины 90° при перемещении предметного столика 7. На-

грузка на конце при царапании передается коромыслом 1, опирающимся на



Фиг. 33.

призму 2, от неподвижного 3 и подвижного 4 грузов. Она может быть выбрана в пределах 0—50 Г.

Мерой твердости служит либо нагрузка, соответствующая ширине царапины 0,01 мм, либо величина, обратная ширине царапины, получающейся при определенной нагрузке.

Определение твердости микроскопических участков и тонких слоев (микротвердость) осуществляется вдавливанием алмазной пирамиды с квадратным основанием и углами между противоположными гранями $\alpha = 136^\circ$. Иногда применяют алмазную пирамиду, имеющую в основании форму ромба и углы между противоположными ребрами 130° и $172^\circ 30'$. В первом случае форма отпечатка — квадрат и глубина отпечатка $h = \frac{d}{7}$, где d — диагональ отпечатка, во втором — ромб и $h = \frac{d}{30}$, где d — большая диагональ отпечатка.

Число твердости при вдавливании пирамиды с квадратным основанием $H_n = \frac{P}{A} = 1,8544 \frac{P}{d^2}$ кг/мм² есть отношение нагрузки к боковой поверхности отпечатка.

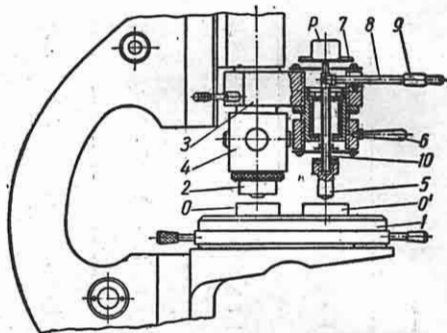
Поверхность испытуемого изделия должна быть плоской и полированной. Для удаления поверхностного слоя, получившего при шлифовании и полировании наклеп, применяют травление. Лучшим способом подготовки поверхности образца для измерения микротвердости является электрополирование.

Схема прибора типа ПМТ-2 Института машиноведения Академии наук СССР для измерения микротвердости изображена на фиг. 34. Образец O укладывается на вращающийся предметный столик I под объектив 2 вертикального микроскопа, на тубусе которого закреплен держатель 3 с вмонтированными в нем опак-иллюминатором 4 и корпусом механизма для вдавливания наконечника. Наметив под микроскопом участок для измерения твердости, поворотом столика перемещают образец в положение O' , в котором выбранный участок оказывается под алмазным наконечником 5 . Вдавливание пирамиды осуществляется (при вращении на 180° ручки 6 арретирующего устройства) под действием груза P , помещаемого на нагрузочную площадку 7 . Нагрузка может быть выбрана в пределах 2—200 Г. Сняв нагрузку, обратным поворотом ручки 6 снова перемещают образец под объектив микроскопа и окуляр-микро-

метром измеряют диагонали полученного отпечатка.

Вспомогательный рычаг 8 с контргрузом 9 служит для уравнивания наконечника 5 , стержня 10 и нагрузочной площадки 7 .

Измерение микротвердости производят также с помощью специальных



Фиг. 34.

приспособлений к металлографическим микроскопам.

Динамические методы. Под ударной твердостью H_f понимают отношение работы удара A в кгмм, поглощаемой материалом при вдавливании шарика, к объему образующегося сегмента V в мм³:

$$H_f = \frac{A}{V} \text{ кг/мм}^2.$$

Для неглубоких отпечатков

$$V = \frac{\pi d^4}{32D},$$

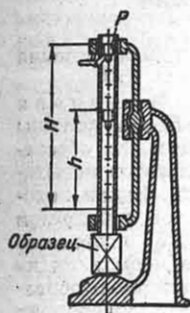
где d — диаметр отпечатка; D — диаметр шарика.

Прибор Николаева состоит из бабы весом 3 кг, которая подвешивается с помощью держателя внутри трубы у верхнего ее конца на высоте 528 мм от головки штифта с закрепленным в нем шариком диаметром 10 мм. Прибор устанавливают вертикально по отвесу к поверхности образца и спуском бабы наносят удар по головке штифта, вдавливая шарик.

Пользуясь таблицами или графиками, прилагаемыми к прибору, по диаметру отпечатка находят твердость материала по Бринелю.

Определение твердости по методу упругого отскока бойка H_{om} производится путем измерения высоты h отскока бойка весом P

при падении его на испытуемый материал со стандартной



Фиг. 35.

Перевод значений твердости по отскоку в числа Бринеля может быть сделан только приближенно и производится по формуле

$$H_B \approx 7H_{от}$$

или по табл. 6.

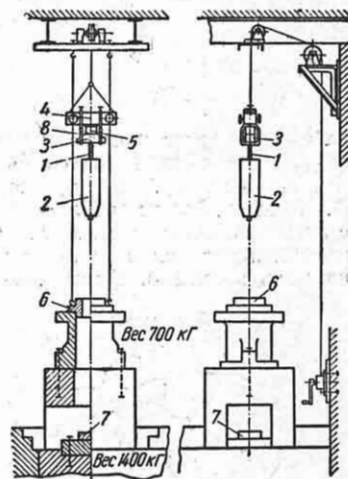
ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ПРИ НОРМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

Испытания на удар

Ударными испытаниями выявляются сопротивляемость материала динамическим нагрузкам и его склонность к хрупкому разрушению. Переход материала в хрупкое состояние облегчается при наличии на образце надреза при высокой скорости приложения нагрузки и пониженной температуре испытания. Поскольку при ударных испытаниях затруднительно измерять действующие силы, сопротивляемость материала удару определяется величиной работы, затрачиваемой на его разрушение.

Ударные испытания на растяжение осуществляются на вертикальных копрах. На фиг. 36 представлена схема копра конструкции Н. Н. Давиденкова. Образец 1, снабженный головками с винтовой резьбой, соединяет бабу 2 и контрбабу 3. Вся система 1—2—3 перед испытанием подвешивается на заданной высоте к поперечине 4 скобами 8, а при их снятии удерживается электромагнитом 5. По выключении тока баба, образец и контрбаба свободно падают до тех пор, пока контрбаба не будет задержана воротником 6. При этом действии бабы 2 образец разрушается,

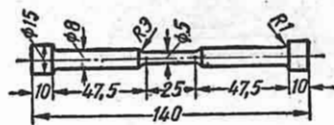
а сама баба, продолжая падение, ударяет закрепленным на ее нижнем конце шариком в плиту 7 и оставляет на ней отпечаток. По величине отпечатка на предварительно тарированной плите подсчитывают избыточную живую силу бабы. Зная запас энергии подвешенной бабы и ее избыточную живую силу



Фиг. 36.

после падения, определяют работу A разрушения образца.

Качество материала характеризуется удельной работой деформации $a = \frac{A}{V}$ (V — рабочий объем образца в $см^3$), удлинением и сужением образца.

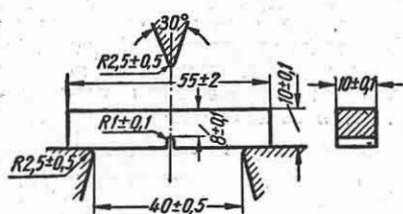


Фиг. 37.

Форма образца для ударного испытания на разрыв показана на фиг. 37.

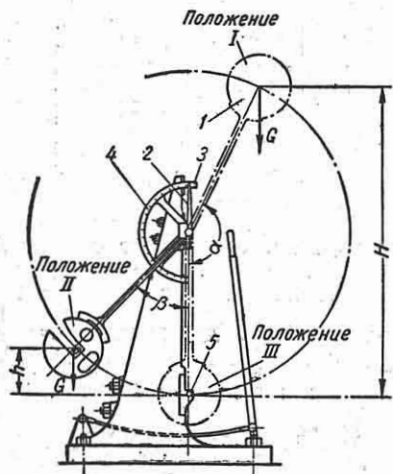
Ударные испытания надрезанных образцов на изгиб осуществляются на маятниковых копрах. Образец располагается как балка, лежащая на двух опорах, с нанесением удара посередине. Эскиз стандартного образца для ударных испытаний представлен на фиг. 38. Мерой сопротивления удару служит удельная ударная вязкость a_k (ударная вязкость) — отношение работы, расходуемой для ударного излома образца:

данного типа, к его поперечному сечению в месте надреза.



Фиг. 38.

Схема маятникового копра приведена на фиг. 39. Маятник 1 отводится на угол α в положение I и крепится защелкой 5. На одной оси с маятником посажена с легким трением стрелка 2, устанавливаемая перед испытанием до упора 3 на ноль шкалы 4. После отброса



Фиг. 39.

защелки маятник падает, разрушая образец 5, и по инерции отклоняется в положение II на угол β . Угол β отсчитывается по положению стрелки на шкале, когда маятник займет вертикальное положение III.

Работа A излома определяется по формуле

$$A = G(H - h) = Gr(\cos \beta - \cos \alpha) \text{ кгм,}$$

где G — вес маятника; r — расстояние от центра тяжести маятника до оси качения; H, h, α, β — соответственно высоты подъема маятника и углы отклонения маятника до и после удара.

Ударная вязкость

$$a_n = \frac{A}{F} \text{ кгМ/см}^2,$$

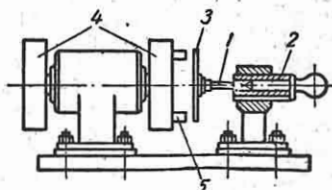
где F — площадь поперечного сечения образца в месте надреза в см^2 .

Форма образцов и условия испытания (ГОСТ 1524-42) должны быть строго определенными для обеспечения сравнимости результатов испытания на ударную вязкость. Закон подобия для ударных образцов с надрезом не соблюдается. На фиг. 38 изображен стандартный образец для испытания на ударную вязкость. Изготовление образцов производится на металлорежущих станках; нагрев и наклеп материала не допускаются. Нанесение надреза производится абразивным камнем после термообработки. Для мягких материалов допускается применение фасонной фрезы с доводкой или шлифованием дна надреза. Расположение надреза у листов и профильного материала перпендикулярно направлению проката.

При испытании стандартного образца расстояние между опорами должно быть $40 \pm 0,5$ мм. Нож маятника должен находиться строго против надреза на образце с противоположной стороны. Маятниковый копер должен обеспечить возможность отсчета работы удара, затраченной на излом образца, с точностью до 0,1 кгМ.

Маятниковые копры используют иногда для испытания материалов на удар растяжением. В этом случае образец, подобный изображенному на фиг. 37, одной своей головкой ввинчивается в заднюю грань диска маятника, а на другую головку надевается поперечина. Недостатком этого метода является возможность при испытании дополнительного изгиба, искажающего результаты.

Испытание на удар кручением производится на копре, схема которого приведена на фиг. 40. Образец 1 крепится



Фиг. 40.

в захвате 2, с помощью которого он имеет возможность перемещаться посту-

пательно (без вращения). На другой его конец надевается поперечина 3. Диск 4, сидящий на валу двигателя, снабжен выступами 5, с которыми по достижении двигателя требуется числа оборотов вводится в зацепление поперечина 3, и образец ломается крутильным ударом.

Ударные испытания растяжением, изгибом или кручением выявляют отклонения материала от стандартного качества.

О д и н а р н ы м и испытаниями нескольких образцов при комнатной температуре контролируется качество термообработки.

С е р и я м и и испытаниями при различных температурах более полно обследуют качество металла и выявляют критический интервал хрупкости — узкий



Фиг. 41.

интервал температур, в котором наблюдается резкое снижение ударной вязкости. Температурные кривые ударной вязкости для мелкозернистого и крупнозернистого железа приведены на фиг. 41.

Испытания на усталость

Под усталостью понимают постепенное разрушение материала при большом числе повторно-переменных напряжений, а его свойство выдерживать, не разрушаясь, эти напряжения носит название *выносливость*. Напряжения изменяются во времени циклически; каждый цикл есть замкнутая однократная смена напряжений, получающих непрерывный ряд значений. На фиг. 42 схематически изображены типичные циклы повторно-переменных нагрузок: симметричный цикл — а; знакопостоянный — б; асимметричный знакопеременный — в; асимметричный знакопостоянный — г. На фиг. 42 приняты следующие обозначения: σ_{max} — наибольшее (по алгебраической величине) напряжение в цикле; σ_{min} — наименьшее (по алгебраической величине) на-

пряжение в цикле; $\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$ —

амплитуда цикла — алгебраическая полуразность наибольшего и наименьшего

напряжений цикла; $\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$ —

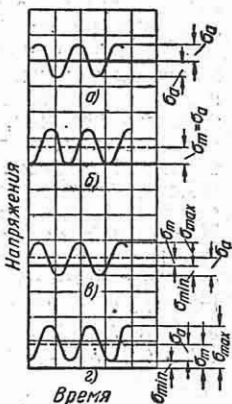
среднее напряжение цикла — алгебраическая полусумма наибольшего и наименьшего напряжений в цикле.

Цикл может быть охарактеризован также коэффициентом асимметрии r — отношением наименьшего напряжения к наибольшему, взятым с алгебраическим знаком:

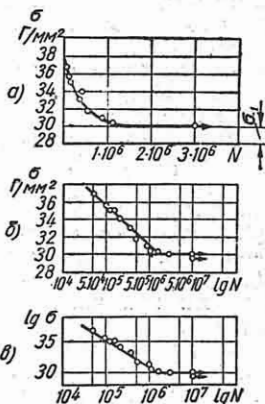
$$r = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$$

Целью испытания является определение для данного типа цикла предела выносливости — наибольшего напряжения, допускающего повторения N раз данного типа цикла без разрушения образца, где N — заданное техническими условиями число (например, $10^6, 10^7, 10^8$).

Для определения предела выносливости испытывается серия из шести—восьми образцов и строится кривая уста-



Фиг. 42.

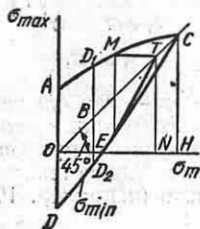


Фиг. 43.

лости (фиг. 43) в координатах «напряжение—число циклов до излома образца». В пределах верхней ветви кривой

фиг. 43, а каждому напряжению σ соответствует некоторое число циклов, выдерживаемых образцом до разрушения, а нижняя ее ветвь приближается к асимптоте с ординатой σ_{-1} , являющейся пределом выносливости. При напряжениях $\sigma < \sigma_{-1}$ излома не происходит. Кривые усталости могут быть представлены в полулгарифмических (фиг. 43, б) и логарифмических (фиг. 43, в) координатах. Значение пределов выносливости можно считать установленным, если разность напряжений наименьшего, вызвавшего поломку, и наибольшего, не вызвавшего ее, не превышает 5% и не больше 1 кг/мм^2 .

Поведение материала при работе на усталость не может быть охарактеризовано только одним пределом выносливости, так как последний зависит при прочих равных условиях от асимметрии цикла. Поэтому прибегают к построению полных диаграмм пределов усталости (фиг. 44).



Фиг. 44.

Прямая OC проведена под углом 45° , и ее ординаты равны соответствующим средним напряжениям.

Каждому значению среднего напряжения цикла соответствует своя определенная величина предельной амплитуды (например, при $\sigma_m = OE$ амплитуда $\sigma_a = BD_1 = BD_2$).

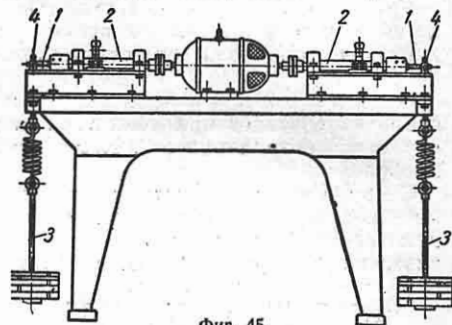
Крайние левые ординаты OA и OD определяют предел выносливости при симметричном цикле ($\sigma_m = 0$); $OH = HC$ — предел прочности при растяжении (когда $\sigma_m = \sigma_{ap}$); $ON = NT$ — предел текучести при растяжении (когда $\sigma_m = \sigma_T$).

Машины для испытания на усталость. Испытание на усталость может быть осуществлено растяжением и сжатием, переменным изгибом, переменным кручением и т. д.

Подсчет напряжений производится по соответствующим формулам сопротивления материалов.

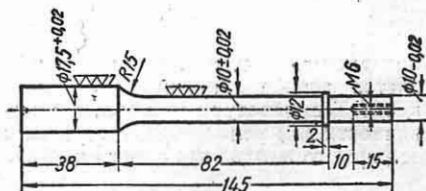
Наибольшее распространение получили испытания: а) изгибом при вращении консольного образца и б) чистым изгибом при вращении образца.

Схема типичной машины для испытания изгибом при вращении консольных образцов изображена на фиг. 45.



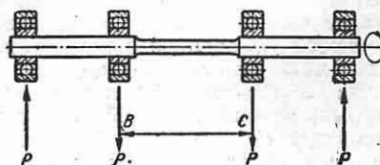
Фиг. 45.

Два образца 1 крепятся в цапгах, вращающихся от электродвигателя валов 2 . Нагрузка на образец передается через тягу 3 и подшипник 4 . Отсчет числа циклов производится счетчиком или по числу оборотов двигателя. Образец для этих испытаний изображен на фиг. 46.



Фиг. 46.

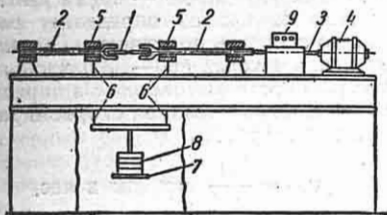
Схема нагружения при испытании чистым изгибом показана на фиг. 47. Максимальное напряжение распределено на длине BC образца. Схема



Фиг. 47.

машины, осуществляющей эту схему нагружения, изображена на фиг. 48. Образец 1 укрепляется в цапгах шпинделей 2 и приводится во вращение от электродвигателя 4 посредством гибкого вала 3 . Нагрузка передается на образец

через подшипники 5 тягами 6, к которым прикреплена чашка 7 с грузами 8. Отсчет числа оборотов производится



Фиг. 48.

счетчиком 9. Обычно машины такого типа работают с числом оборотов 1400—3000 в минуту. Образец для этих испытаний изображен на фиг. 49.



Фиг. 49.

Величины пределов выносливости зависят от диаметров образцов. Увеличение диаметра приводит к снижению значения предела выносливости. Масштабный эффект особенно резко проявляется в интервале диаметров 0,5—50 мм.

Для определения чувствительности металла к концентрации напряжений применяются образцы с надрезом. Момент сопротивления образца с надрезом подсчитывается по живому сечению в месте надреза.

ИСПЫТАНИЯ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Механические свойства материалов при повышенных температурах определяются большей частью при растяжении.

Испытания могут быть кратковременными и длительными. Последние производятся на ползучесть и на длительную прочность.

Кратковременные испытания на растяжение

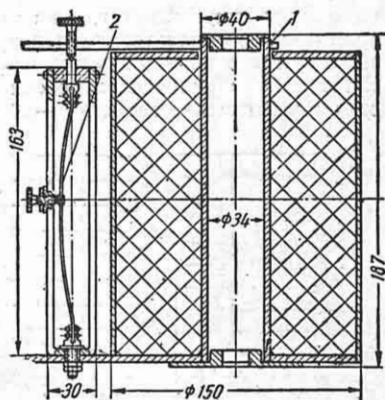
Целью кратковременных испытаний на растяжение при повышенной температуре является определение характеристики прочности и пластичности при заданных температурах. Методика испытания и определения этих характеристик

аналогична указанным в «Испытаниях на растяжение», стр. 1.

Для производства испытаний рекомендуются пресс Гагарина и машина ИМ-4Р, снабженные аппаратами для записи диаграмм большого масштаба.

Определение малых деформаций экстензометрами рекомендуется производить на рычажно-маятниковых машинах с механическим приводом небольшой мощности.

Качество испытаний зависит от условий нагрева и поддержания постоянной температуры во время опыта. Лучший способ нагрева образца — в трубчатой муфельной электропечи сопротивления, изображенной на фиг. 50. Температура



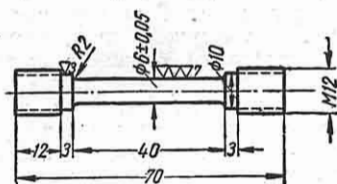
Фиг. 50.

в муфеле 1 регулируется пластинчатым терморегулятором 2.

Длина зоны равномерного обогрева муфеля, изготовляемого из керамики или жаропрочной стали, должна в 2—4 раза превышать расчетную длину образца. Диаметр муфеля D выбирается из расчета $D > 3d$, где d — диаметр образца. Благодаря густой навивке обмотки, у краев муфеля обеспечивается равномерный нагрев рабочей части образца. Постоянная температура (с отклонением от ± 3 до $\pm 5^\circ\text{C}$) поддерживается с помощью пластинчатого терморегулятора. Контроль температуры (до 900°C) осуществляется никель-нихромовыми или хромель-алюмелевыми термопарами, крепящимися непосредственно к образцу.

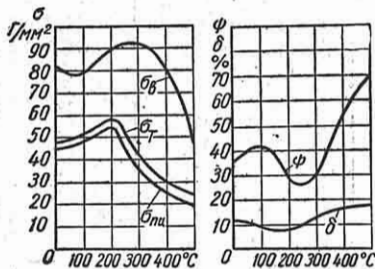
Обычно испытания при высоких температурах производят на цилиндрических образцах (фиг. 51), снабженных резьбовыми головками. Закрепление образца в захватах осуществляют

резбовыми тягами, навинчивающимися на головки образцов. Образец с тягами помещается внутри муфеля печи, и вся



Фиг. 51.

система укрепляется в захватах машины. Особое внимание должно быть обращено на предохранение колонок и других частей испытательной машины от нагревания. Результаты испытаний на растяжение при повышенных температурах изображаются в виде диаграмм, в которых температура наносится по оси абсцисс, а механические свойства — по оси



Фиг. 52.

ординат. Результаты определения механических свойств углеродистой стали при высоких температурах отображены на фиг. 52.

Испытания на ползучесть

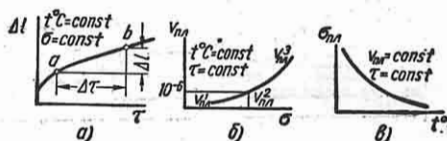
Ползучесть — свойство металла медленно и непрерывно пластически деформироваться под действием постоянной нагрузки (особенно при высоких температурах). Целью испытания на ползучесть является определение так называемого *предела ползучести*, т. е. величины того длительно действующего при заданной температуре напряжения, при котором скорость ползучести за определенный промежуток времени не превосходит некоторой заданной техническими условиями величины (например, от 10^{-5} до 10^{-8} мм/мм в час или от 10^{-3} до 10^{-6} % в час). Практически поступают следующим образом. При ка-

ждой заданной температуре испытывают четыре-пять образцов под различными нагрузками и для каждой из них строят кривые удлинение — время (фиг. 53). Участок *ab* кривой определяет равномерную скорость ползучести. Обычно он достигается через 500—1000 час., а его протяженность выбирают в пределах 1000 час. Относительная скорость равномерной ползучести

$$v_{пл} = \frac{\Delta l}{l \cdot \Delta t} \text{ мм/мм в час,}$$

где l — расчетная длина образца; Δl — приращение длины образца за время Δt .

По подсчитанным скоростям ползучести $v_{пл}$ и вызвавшим эту скорость напряжениям σ вычерчивают график (фиг. 53, б), на котором по заданной ско-



Фиг. 53.

рости ползучести (например, 10^{-6}) определяют соответствующее ей напряжение, являющееся пределом ползучести. Для удобства пользования график типа 53, б перестраивают в логарифмических координатах.

График в координатах предел ползучести — температура (фиг. 53, в) дает конструктору исходные данные для расчета деталей машин, подверженных одновременному длительному воздействию напряжений и температуры.

Испытания на длительную прочность

Испытание на длительную прочность есть разновидность испытания на ползучесть, при котором испытуемый образец доводится до разрушения. Задача сводится к определению времени, необходимого для разрыва образца при заданных напряжениях и температуре, а также к определению остаточного удлинения и поперечного сужения при разрыве.

Пределом длительной прочности называется напряжение, при котором образец разрушится после заданного времени испытания.

Зависимость напряжения от времени до разрушения выражается гиперболической кривой, а в логарифмических

координатах — прямой линией (фиг. 54, линии А и В), что дает возможность по трем-четырем точкам (например, 10, 50 и 100 час.) путем экстраполяции на заданное техническими условиями время получить расчетное напряжение. Однако для некоторых сталей прямая линия дает излом (фиг. 54, линия С) и экстраполяция в этом случае может привести к неверным результатам.

Машина для испытания на ползучесть на протяжении опыта должна обеспечивать: а) постоянство величины на-



Фиг. 54.

грузки; б) неизменность заданной температуры; в) возможность измерения малых деформаций.

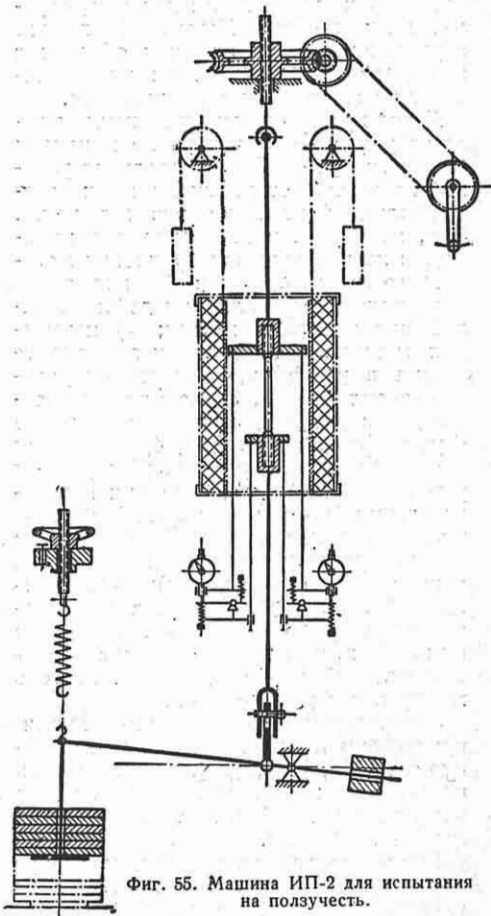
Для ускорения исследований одновременно испытывают несколько образцов.

Машина ИП-2 конструкции ЦНИИТ-МАШ приспособлена для одновременного испытания четырех образцов при различных условиях. На фиг. 55 изображена схема одной из четырех ячеек машины.

Образец помещают в электрическую печь сопротивления, уравновешенную контргрузами. Печь снабжена трехсекционной обмоткой, обеспечивающей равномерный нагрев на длине 300 мм. Колебания температуры по длине печи 1—2° С. Максимальная рабочая температура при нихромовой обмотке равна 700° С. Постоянная температура с точностью до $\pm 2,0^\circ$ С поддерживается терморегулятором, действие которого основано на тепловом изменении размеров муфеля из жаропрочной стали. Измерение температуры производится в трех точках по рабочей части образца с помощью термопар компенсационным способом. Текущий контроль осуществляется самопишущим гальванометром, периодический — потенциометром. Точность измерения температуры $\pm 1,0^\circ$ С.

Измерение деформации образца во время испытания производят с помощью тензометров, укрепленных на образце. Тензометры снабжены удлиненными тя-

гами, концы которых выведены из печи и связаны с индикаторами. Последние служат для отсчета деформации. Под-



Фиг. 55. Машина ИП-2 для испытания на ползучесть.

бором соотношений плеч рычагов достигают необходимой чувствительности и точности измерений.

ИСПЫТАНИЯ МАТЕРИАЛОВ И ДЕТАЛЕЙ МАШИН НА ТРЕНИЕ И ИЗНАШИВАНИЕ

Виды испытаний

Методы испытания как на изнашивание, так и на трение подразделяются в зависимости от назначения на две группы: 1) испытания, целью которых является изучение самых процессов

изнашивания или трения и сопровождающих их явлений; 2) испытания с целью оценки изнашивания или трения применительно к конкретным деталям определенных машин. Испытания первой группы проводятся главным образом с исследовательскими целями; их классификация здесь не рассматривается.

Методы испытания второй группы целесообразно подразделять по признаку большего или меньшего отдаления условий испытаний от действительных условий службы на несколько категорий. Так, например, применительно к испытанию на изнашивание предложено следующее подразделение: 1) испытания материала на деталях при действительной эксплуатации машин; 2) испытания материала на деталях при работе машин в условиях, копирующих условия эксплуатации; 3) испытания материала на деталях при работе машин в условиях лаборатории; 4) испытания материала на образцах на лабораторных установках (или машинах) при воспроизведении основных условий трения, имеющих место в эксплуатации, или при воспроизведении того же процесса изнашивания (или трения); 5) испытания материала на образцах на лабораторных установках (или машинах) в условиях, не воспроизводящих основных условий трения детали или того же процесса изнашивания.

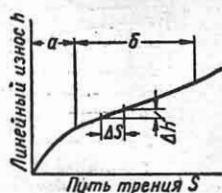
Обоснования этой классификации применительно к испытанию на изнашивание см. [14], [15], [19]. Решающие для практических выводов результаты дает эксплуатационный опыт, т. е. испытания первой категории.

Возможно дальнейшее подразделение испытаний четвертой группы по видам изнашивания или по процессам.

Способы выражения величины износа. Износостойкость является эксплуатационным или служебным свойством материала, детали или сопряжения, поэтому износ может выражаться различными способами, ближе всего характеризующими их служебное назначение. Во многих случаях наиболее удобно выразить износ величиной уменьшения линейного размера тела в направлении, нормальном к поверхности (линейный износ). Если линейный износ Δh произошел на пути трения ΔS за время Δt , то отношение $\Delta h : \Delta S$ явится интенсивностью линейного изнашивания, а отношение $\Delta h : \Delta t$ — скоростью линейного изнашивания.

Учет приработки. Во всех процессах трения и изнашивания важное значение имеет приработка. Приработкой называется процесс постепенного изменения в результате изнашивания начальной шероховатости (ее величины и направления) и взаимного прилегания обеих поверхностей до достижения стабильной шероховатости и постоянной величины прилегания.

В интенсивности изнашивания сопряжений машин часто наблюдаются периоды приработки a и нормальной работы b , представленные на фиг. 56,



Фиг. 56.

поверхностных слоев трущихся металлов (главным образом вследствие наклепа).

Заданным внешним условиям трения (нагрузке, скорости, смазки и т. п.) соответствует определенное состояние приработанности; при утяжелении этих условий происходит дополнительная приработка.

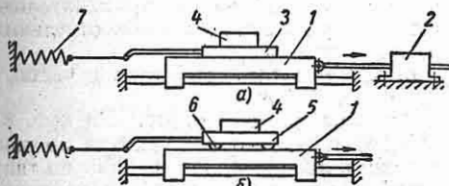
Лабораторные испытания на трение

Испытание на трение, проводимое на образцах, обычно применяется при изучении самого явления трения или в контрольных целях. Для точного выявления величины коэффициента трения, вводимого в расчеты на трение, испытания обычно проводятся в условиях, воспроизводящих возможно точнее условия службы материала детали.

Следует различать: а) испытания на трение при начале скольжения и б) испытания на трение при скольжении.

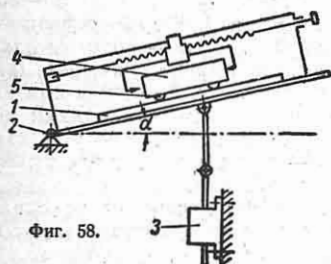
Испытание на трение при начале скольжения. При этом испытании наиболее распространенными (при исследованиях) являются приборы, схематически представленные на фиг. 57 и 58. На фиг. 57 представлена схема прибора, называемого горизонтальной плоскостью (ГП — ИМАШ), у которого плита 1 может перемещаться поступательно в направляющих под действием привода 2. На плиту 1 кладется (фиг. 57, а) испытуемый образец 3, соприкасающийся с ней своей плоской стороной и нагру-

жаемый грузом 4, или кладется (фиг. 57, б) каретка 5 с тремя шаровыми ножками 6 из испытуемого материала. Образец 3 и каретка 5, увлекаемая силой трения, растягивают тарированную пружину 7, деформация которой позволяет определить величину силы трения.



Фиг. 57.

Схема прибора, представленного на фиг. 58, известна под названием наклонной плоскости. Плита 1, прикрепленная к основанию прибора, может поворачиваться вокруг шарнира 2 с помощью привода 3 и таким образом получать разные углы α наклона по отношению к горизонту. Специальное устрой-



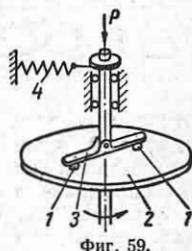
Фиг. 58.

ство должно обеспечивать точный отсчет этого угла. На плите 1 покоится каретка 4, имеющая три шаровые ножки 5 из испытуемого материала. Каретка имеет боковые стержни (не показаны на схеме) для крепления грузов. Точная отметка начала скольжения каретки может производиться по разрыву электрической цепи, для чего применяется устройство, схематически показанное на фиг. 58; оно одновременно служит для ограничения величины начавшегося скольжения. Описание и примеры использования этого прибора см. [1].

В том случае, когда на результаты испытания может оказать влияние длительность неподвижного контакта и ее необходимо точно учитывать (или выдерживать), следует применять схему испытания по фиг. 57.

Изучение статического трения иногда производится на деталях в условиях, соответствующих эксплуатационным, например в связи с вопросом прочности неподвижных посадок [11], с определением пускового сопротивления подшипников скольжения после долгого их пребывания в покое или сопротивления троганию с места поршня при низких температурах [2].

Испытание на трение при скольжении. На фиг. 59 представлена дисковая машина с двумя испытуемыми образцами 1, лежащими своими плоскими сторонами на диске 2, приводимом во вращение от электродвигателя. Образцы закреплены по концам державки 3, могущей поворачиваться вокруг оси, совпадающей с осью диска 2. Державка удерживается от вращения вместе с диском пружиной 4, по деформации которой судят о величине силы трения.



Фиг. 59.

К недостаткам дисковых машин относятся практическая трудность придания дискам точно определенной желательной степени шероховатости и дороговизна их изготовления при большом их диаметре. Описание советских конструкций дисковых машин трения см. [6].

Наиболее распространенной машиной для испытания образцов при трении на цилиндрическом стыке является машина по типу Амслера (описание помещено ниже).

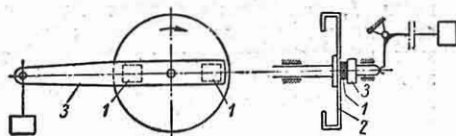
Описание прибора Боудена — Лебена для изучения трения при весьма малых скоростях скольжения при граничной смазке или в отсутствии смазки см. [22].

Для изучения сопротивления трению скольжения в сопряженных деталях машин применяются специальные машины или установки, в которых воспроизводятся с большим или меньшим приближением условия трения деталей. Иногда при этом используются в качестве объектов испытания сами детали.

Испытание на трение фрикционных материалов. Величина коэффициента трения одних и тех же фрикционных материалов может получаться различной при разных формах образца и видах нагружения. Для определения величины коэффициента трения фрикционных обшивок или тормозов, с целью

использования при расчетах, испытания должны производиться на деталях в условиях трения, соответствующих эксплуатационным; условия моделирования для таких испытаний еще не разработаны. Сравнительные или контрольные испытания разных фрикционных материалов проводятся также на образцах.

На фиг. 60 представлена схема машины ЛТ-3 для испытания образцов фрикционных обшивок, аналогичная приведенной на схеме фиг. 59. Два образца 1, закрепленные в державке 3,



Фиг. 60.

трусся о плоскую сторону чугунного диска 2, вращающегося вокруг горизонтальной оси. Способы нагружения и определения момента трения видны из схемы. В ГОСТ 1786-42 «Кольца асбестовые фрикционные» указаны условия испытания образцов, вырезанных из дисков: размеры каждого из двух образцов 22×27 мм; удельное давление $2,7 \text{ кг/см}^2$; скорость скольжения по средней линии образцов $7-7,5 \text{ м/сек}$; температура образца при испытании $100-135^\circ \text{C}$; коэффициент трения должен быть не ниже 0,33.

Испытание при трении качения и качения с проскальзыванием. Испытания при трении качения и трении качения с проскальзыванием с целью изучения явления производятся чаще всего на машине типа Амслера (см. ниже).

Испытание подшипников качения для определения их момента трения в работе может производиться на машинах для испытания подшипников скольжения, а также «по методу выбега». Недостатком последнего метода является ведение наблюдений в условиях неустановившегося трения; тем не менее в некоторых случаях метод позволяет получить результаты с точностью, достаточной для практических целей.

Лабораторные испытания на изнашивание

Машины, служащие для лабораторных испытаний на изнашивание, можно подразделить на следующие три группы:

а) машины, допускающие варьирование условий трения; подбором сочетания

последних можно достичь воспроизведения процесса изнашивания, имеющего место в условиях эксплуатации, или достичь имитирования эксплуатационных условий в большом числе случаев, — такие машины можно назвать универсальными;

б) машины, специализированные для испытаний материалов применительно к типовым условиям службы отдельных деталей машин;

в) машины для испытания в частных условиях трения.

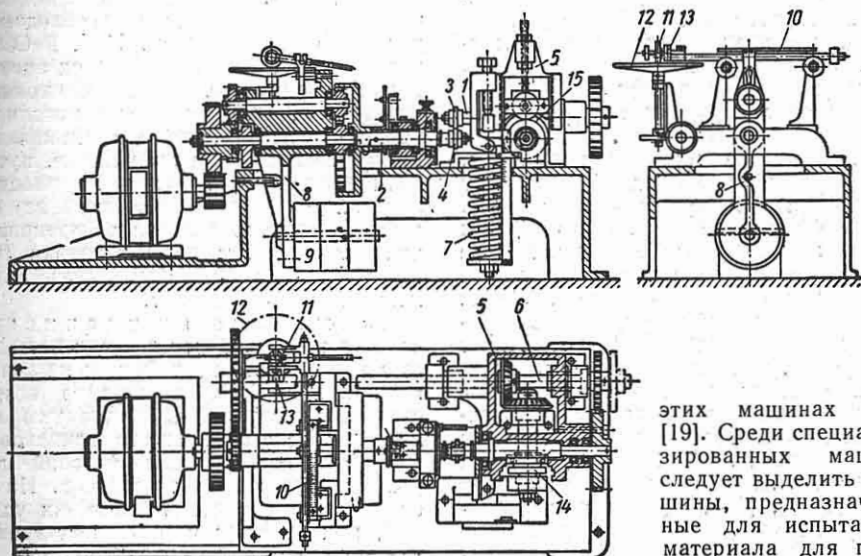
Машины универсальные. На фиг. 61 представлена наиболее удачная по конструкции лабораторная машина по типу Амслера, допускающая варьирование условий трения. На этой машине можно вести испытания как при смазке, так и без нее: а) при трении скольжения, б) при трении качения и в) при трении качения с проскальзыванием. Трение на поверхности образцов происходит с малой скоростью.

На концы валов 1 и 2 насажены образцы 3 и 4 в виде роликов (для случая чистого качения или качения с проскальзыванием) с диаметрами $30-50 \text{ мм}$ (обычно 40 мм). Форма образцов показана на фиг. 62: а — образцы для испытаний при чистом качении (верхний образец свободен на оси) и при качении с проскальзыванием (верхний образец вращается с осью); б — при скольжении; в — при скольжении по схеме испытания врезанием.

При трении качения с проскальзыванием ролики вращаются вместе с валами в разные стороны. Нижний вал делает 200, верхний 180 оборотов в минуту, поэтому при образцах одинакового диаметра имеет место 10%-ное скольжение; процент скольжения может быть изменен при изменении диаметров образцов. Нижний вал 2 (фиг. 61) покоится на трех шарикоподшипниках; верхний вал 1 лежит в шарикоподшипниках рамки 5, которая может поворачиваться вокруг оси 6. Пружина 7 создает нагрузку $25-200 \text{ кг}$ на образцы. Вал 2 приводится в движение от электродвигателя через шестеренную передачу, позволяющую при помощи маятника 8 и грузов 9 уравновешивать крутящий момент, величина которого указывается на шкале 10. Связанный с маятником интегратор 11, 12, 13 дает суммарную работу трения. Величина измеряемого крутящего момента составляет $0,1-150,0 \text{ кгсм}$. Счетчик указывает суммар-

ное число оборотов. При помощи приспособлений 14 и 15 рамка 5 может за время одного оборота образца приподниматься; ей может также сообщаться возвратно-поступательное движение вдоль оси образцов до ± 5 мм.

ции машин, созданных в СССР, для испытания на изнашивание материала шестерен, материала траков и пальцев гусеничных механизмов тракторов, материала калибров, материала тормозных обшивок и др. Некоторые сведения об



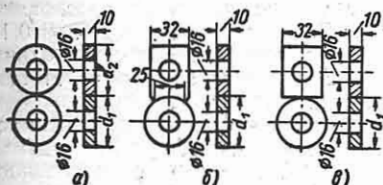
Фиг. 61.

Мощность электродвигателя 0,8 квт. Вес машины 275 кг. Машина может устанавливаться на массивном столе или, лучше, на фундаменте.

Машины этого типа применялись для различных испытаний на трение и на изнашивание, для испытаний материалов антифрикционных и фрикционных,

этих машинах см. [19]. Среди специализированных машин следует выделить машины, предназначенные для испытания материала для подшипников скольжения (см. ниже).

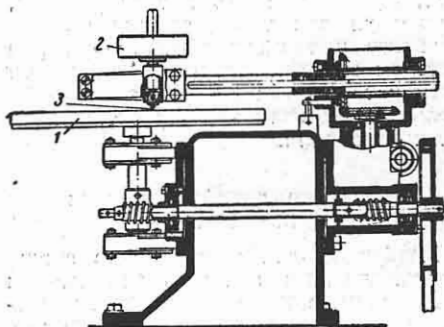
Машины для испытания при определенном виде изнашивания. Сюда относится, например, машина Х4-Б (ИМАШ) для испытания на абразивное изнашивание, схематически представленная на фиг. 63. К вращающемуся с небольшой



Фиг. 62.

материалов для шестерен и других деталей, при исследовательских работах и в контрольных целях. Некоторые методические указания о работе на машине типа Амслера см. [8].

Машины специализированные служат для испытания материалов применительно к типовым условиям трения отдельных деталей. Известны конструк-



Фиг. 63.

скоростью диску 1, обтянутому абразивной шкуркой, прижимается под действием груза 2 образец 3, имеющий форму цилиндра диаметром 2 мм

(образец трется своим торцом). Одновременно образец получает радиальное перемещение, так что трение происходит о свежую поверхность шкурки, и путь трения — спираль. На части абразивной поверхности, покрывающей диск, производится испытание на изнашивание эталонного материала в тех же условиях (нагрузка, длина пути трения). Отношение износа (уменьшения длины) эталона к износу испытуемого образца дает величину *относительной износостойкости материала*, являющейся числовым результатом испытания. Подробные данные об этой машине и методике испытания на ней см. [20].

Машины для испытания в частных условиях трения, т. е. машины, не являющиеся универсальными и вместе с тем не воспроизводящие процесса изнашивания или условий трения, имеющих место в эксплуатации, составляют особую многочисленную группу. Применение таких машин целесообразно при изучении самого процесса изнашивания. К этой группе относятся машины АЭ системы А. К. Зайцева, машина Савина и др. Более подробный их обзор см. [5], [9], [15], [19]. Сюда же относится машина Х2-М (ИМАШ) для испытания металлов на изнашивание в агрессивных жидких средах; описание машины и методики работы на ней см. [21].

Для решения практических задач оценки износостойкости материала применительно к детали определенной машины следует пользоваться методом воспроизведения процесса изнашивания, имеющего место в эксплуатации, используя для этого машину универсального или специального типа, или методом воспроизведения совокупности эксплуатационных условий трения, используя для этого машину специализированного типа.

Испытания антифрикционных материалов

Материалы для подшипников скольжения должны обладать следующими свойствами, в своей совокупности определяющими антифрикционность: 1) способностью прирабатываться; 2) не налипать, не наволакиваться и не привариваться к материалу вала; 3) давать в сопряжении с материалом вала в условиях несовершенной смазки невысокий коэффициент трения; 4) не царапать материал

вала. Оценка этих свойств производится при сравнительных испытаниях на трение в условиях применения смазки и материала вала, однородных с применяемыми в эксплуатации.

Испытания на приработываемость. Возможные методы оценки приработываемости и необходимые для этого испытания см. [16]. В СССР разработан лабораторный метод оценки приработываемости антифрикционных материалов, основанный на моделировании процесса местного изнашивания, имеющего место при приработке, путем вытирания диском лунки на плоской поверхности образца. Испытание ведется в ванне со смазкой до прекращения на каждой ступени нагрузки (нагрузка повышается ступенями) видимого увеличения лунки.

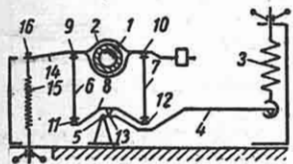
Испытания на трение проводятся на образцах, имеющих постоянную поверхность трения, или на целых подшипниках при постепенно возрастающей нагрузке. Существенным является обеспечение строго одинаковых исходных состояний и условий для разных сравниваемых образцов. Начав со сравнительно легких внешних условий, при которых коэффициент трения невысок и испытуемый материал не нагревается, постепенно утяжеляют их, наблюдая при этом за изменением коэффициента трения. Утяжеление условий испытания достигается чаще всего повышением нагрузки, реже подогревом цапфы с целью понижения вязкости смазки или понижения скорости скольжения. При некоторой нагрузке коэффициент трения начинает резко повышаться. Опыт прекращается, когда коэффициент трения достигает обусловленной величины (например, 0,05 или 0,1). Нагрузку повышают небольшими одинаковыми ступенями, обычно через одинаковые интервалы времени.

В результате испытания определяется наибольшее достигнутое удельное давление, соответствующее обусловленной предельной величине коэффициента трения, условно называемое *удельным давлением* при начале заедания.

Испытание в аварийных условиях прекращенной под а ч и смазки проводится при постоянных внешних условиях нагружения. Испытание начинается после обеспечения нормальной приработки поверхностей и достижения в работе установившегося теплового состояния.

Отмечается длительность периода работы после выключения подачи смазки до момента резкого возрастания коэффициента трения (до заранее обусловленной величины) и изменение в состоянии поверхностей испытуемого материала и вала.

Машины для испытания антифрикционных материалов. Одной из наиболее употребительных машин для испытания образцов антифрикционных материалов является универсальная машина (см. фиг. 61) (вариант трения скольжения). Для испытания антифрикционных материалов на образцах, представляющих собой полный или частичный вкладыш, наиболее употребительной схемой машины является приведенная на фиг. 64. Испытуемый подшипник 1 за-



Фиг. 64.

креплен в головке 2 верхней горизонтальной балки 14. Нагрузка создается пружиной 3 (или грузами), действующей на конец нагруженного рычага 4, который имеет ось вращения 5; от нагруженного рычага сила передается к верхней балке при помощи параллелограмма, имеющего звенья 6, 7, 8 и шарниры 9, 10, 11 и 12. Ось подшипника 1 должна лежать посередине и точно на одной линии с шарнирами 9 и 10; ось шарнира 13 должна лежать посередине и на одной линии с шарнирами 11 и 12. При вращении вала верхняя балка 14 увлекается силой трения в подшипнике в сторону вращения; момент трения уравновешивается натяжением пружины 15, действующей на конец 16 балки 14. Более подробные сведения о специальных машинах для испытания антифрикционных материалов см. [5], [16].

Испытания на изнашивание деталей при их службе в машинах

Наиболее достоверные данные об износоустойчивости материала деталей получаются в результате эксплуатационной службы деталей; поэтому вопрос о методах определения износа в условиях эксплуатации приобретает большое значение.

Микрометраж является наиболее распространенным способом прямого определения износа по разнице размеров детали до и после ее работы. Его недостаток: а) если изнашиваются обе стороны, между которыми производится измерение (например, вал или отверстие цилиндра), то в результате микрометража определяется изменение диаметра, а величины линейного износа от начальной поверхности установить не удается; б) повторные измерения не могут быть сделаны точно по одному и тому же направлению.

Взвешивание позволяет весьма точно определить величину суммарного износа. Однако применение его ограничено весом детали (при весе 0,1 кг чувствительность аналитических весов 0,1 мг; при весе 5 кг чувствительность технических весов 0,5 г).

Метод определения железа в масле, используемый для интегрального способа оценки скорости изнашивания, получил развитие и известность под названием метода построения линий износа. Этот метод сводится к следующему. В результате износа чугунных или стальных поверхностей трения деталей машины находящееся в ее картере смазочное масло обогащается железом. Определяя периодически при помощи химического анализа содержание железа во взятой пробе масла и учитывая общее содержание масла при взятии каждой пробы, его утечку, угар или добавления, устанавливают по времени суммарный приход железа (в масло) и строят диаграмму износ железа в граммах — длительность работы машины. Кривая такой диаграммы получила название *линии износа*.

Если поверхностей трения несколько, то этот метод дает суммарный износ металла со всех поверхностей трения. Метод позволяет точно отмечать различие в содержании железа за малые периоды работы машины, например при испытании автомобильного двигателя линия износа может строиться по периодам в 20 мин. Метод позволяет также определять содержание в масле других металлов — свинца, меди и т. д. Метод применим также к случаю износа малых поверхностей трения, например при испытании металлов на износ на лабораторной машине при наличии смазки. Особенно выгодно применение этого метода для оценки зависимости износа цилиндра-поршневой

группы деталей двигателей внутреннего сгорания во время их работы от разных факторов — свойств топлива, свойств смазки, температуры охлаждающей воды, изменение которых может производиться без разборки машины. Литературу об этом методе см. [3].

Радиоактивный метод определения скорости изнашивания и основан на следующем: если материалу детали сообщить радиоактивность, то радиоактивными будут и продукты износа, попадающие в масло; по интенсивности излучения их в пробе масла можно судить о количестве радиоактивного вещества, попавшего в масло за определенный период времени, и о скорости изнашивания детали. Радиоактивность материалу изучаемой детали может быть сообщена различными способами: 1) введением радиоактивных изотопов некоторых элементов в сплав при изготовлении детали; 2) запрессовыванием в тело детали, нормально к ее поверхности трения, проволоки из материала, содержащего радиоактивный изотоп; 3) специальным облучением детали.

При радиоактивном методе, чувствительность которого в сотни раз выше метода «железо в масле», возможно непрерывное наблюдение или запись хода изнашивания; данные об износе относятся не ко всем трущимся деталям, с которых продукты износа попадают в масло, а к одной изучаемой детали.

К недостаткам радиоактивного метода относятся: а) необходимость специального изготовления или обработки деталей; б) необходимость применения специальной аппаратуры; в) необходимость особых мер предосторожности в области охраны труда.

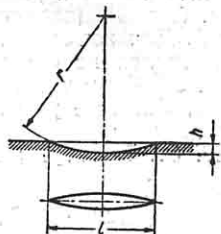
Метод вырезанных лунок, являющийся новым методом прямого определения износа, состоит в следующем: на поверхности трения детали выре-

зается с помощью вращающегося алмазного реза остроугольная лунка, как схематически представлено на фиг. 65. Зная заранее r и измерив с помощью микроскопа длину лунки l , можно определить ее глубину h ; при малой величине l сравнительно с r для плоской поверхности $h = \frac{l^2}{8r}$. Величина линейного износа определяется как разность глубин лунки до и после работы детали.

Обычно начальная длина лунки 1—2 мм. Лунки располагаются на поверхности длинной стороной перпендикулярно направлению скольжения.

Лунки можно вырезать на самых твердых поверхностях; их применение нецелесообразно в случае пластического деформирования поверхностного слоя детали при трении. Преимущество метода вырезанных лунок: определяется местный износ поверхности детали, при этом отпадают погрешности метода микрометража; при многих лунках на поверхности определяется распределение износа по поверхности трения; определение износа производится с большой точностью, что позволяет выявлять его величины за короткие сроки. Величина измеряемого износа ограничена глубиной лунки.

Для применения метода лунок разработаны специальные приборы ИМАШ (для цилиндров, поршневых колец, поршневых пальцев, шеек коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания, направляющих станин и кареток станков). Описание метода и первых образцов приборов для его применения см. [17].



Фиг. 65.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Бучин М. Н., Исследование трения смазанных поверхностей при низких температурах, АН СССР, 1951.

2. Воларович М. П., Исследование трения в паре поршень — цилиндр при низких температурах. Сборник III, «Трение и износ в машинах», АН СССР, 1949.

3. Воинов Н. П., Как определить срок смены масла в автотракторных двигателях, Гостехиздат, 1948.

4. Давиденков Н. Н., Динамические испытания металлов, ОНТИ 1936.

5. Зайцев А. К., Основы учения о трении, износе и смазке машин, Машгиз, 1947.

6. Крагельский И. В., О методике определения силы трения скольжения несмазанных поверхностей. Конференция по трению и износу в машинах, т. I, АН СССР, 1940.

7. Кудрявцев И. В., Механические испытания металлов, Машгиз, 1944.

8. Куканов Л. И., О методике испытания стали на износ на машине Амслера, "Заводская лаборатория" № 7, 1936.

9. Конвисаров Д. В., Износ металлов, ОНТИ, 1938.

10. Одинг И. А., Современные методы испытания металлов, Металлургиздат, 1944.

11. Троянов И. И., Экспериментальное определение сил трения в прессовых конических сопряжениях. II Всесоюзная конференция по трению и износу в машинах, т. 1, АН СССР, 1947.

12. Ужик Г. В., Методы испытаний металлов и деталей машин на выносливость, АН СССР, 1948.

13. Фридман Б., Механические свойства металлов, Оборонгиз, 1947.

14. Хрущов М. М., О рациональной постановке испытаний на износ, "Заводская лаборатория" № 5, 1937.

15. Хрущов М. М., Основные положения к методам испытания на изнашивание, Всесоюзная

конференция по трению и износу в машинах, т. 1 АН СССР, 1939.

16. Хрущов М. М., Исследование приработки подшипниковых сплавов и цапф, АН СССР, 1946.

17. Хрущов М. М. и Беркович Е. С., Точное определение износа деталей машин, АН СССР, 1953.

18. Шапошников Н. А., Механические испытания металлов, Машгиз, 1954.

19. Энциклопедический справочник "Машиностроение" т. 3, Машгиз, 1947.

20. Хрущов М. М. и Бабичев М. А., Исследование изнашивания сталей при трении об абразивную поверхность. Сборник IX, "Трение и износ в машинах", АН СССР, 1954.

21. Хрущов М. М. и Бабичев М. А., Методика испытания металлов на изнашивание при трении в присутствии жидкой среды. Сборник X, "Трение и износ в машинах", АН СССР, 1954.

22. Трение и граничная смазка. Сборник статей, Изд. иностранной литературы, 1953.

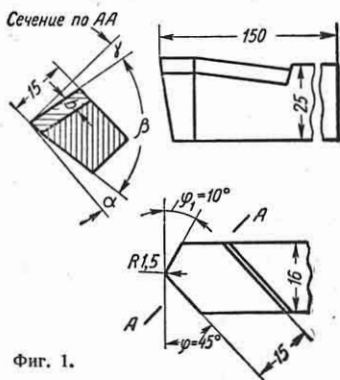
ГЛАВА II

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ МЕТАЛЛА РЕЗАНИЕМ (по ГОСТ 2625-44)

Обрабатываемость определяется резцами, оснащенными пластинками из быстрорежущей стали марки P18. с оптимальной геометрией заточки. Форма и размеры резцов для испытаний резанием принимаются согласно фиг. 1.

Оптимальные углы заточки резцов — передний γ и задний α — устанавливаются экспериментально при $v = \text{const}$,



Фиг. 1.

$t = 2$ мм, $s = 0,5$ мм/об и $T \geq 10$ мин. Сталь обрабатывается с охлаждением 5%-ным раствором эмульсола (подается с интенсивностью 10 л/мин), чугун обрабатывается всухую.

Испытанию подвергают четыре резца с разными передними углами и постоянным задним углом (выбираемым предварительно по ГОСТ 2320-43 для стали марки, наиболее близкой к испытуемой) для определения оптимального угла γ и четыре резца с разными задними углами и постоянным передним углом для определения оптимального угла α .

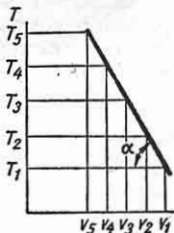
По результатам испытаний строят графики зависимости $T - \gamma$ и $T - \alpha$

и по ним определяют оптимальные углы γ и α , при которых стойкости резцов оказались наибольшими.

Испытания производят на токарном станке с высотой центров $h \geq 200$ мм и расстоянием между центрами $L \geq 1000$ мм с плавным регулированием числа оборотов шпинделя в пределах 12—1000 в минуту и мощностью электродвигателя не менее 5 квт.

Определение обрабатываемости металлов по скорости резания

Метод продольного точения. Стальная заготовка диаметром $D \geq 60$ мм и длиной $L \leq 8D$, предварительно обточенная на глубину не менее 1 мм с подачей 0,5 мм/об, обрабатывается с постоянным сечением стружки $t \times s = 2 \times 0,5$ мм при различных скоростях: $v_1; v_2; v_3; v_4$ и v_5 , соответствующих различным стойкостям резца T_1, T_2, T_3, T_4 и T_5 в пределах $T = 10 \div 60$ мин. Резцы доводятся до затупления (разрушения режущей кромки), определяемого по появлению на поверхности резания блестящей полоски при обработке стали и желтоватой окраски при обработке чугуна.

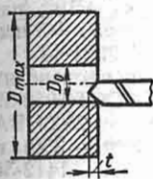


Фиг. 2.

По результатам испытаний строят логарифмический график зависимости $T - v$ (фиг. 2), по которому определяют скорость резания v_{60} , соответствующую стойкости резца $T = 60$ мин. Сравнивая эту скорость резания v_{60} со скоростью резания v_{60} нормализованной конструкционной автоматной стали A12 или любой другой марки стали, обрабатываемость которой опре-

делена тем же методом при аналогичных условиях резания, определяют относительную обрабатываемость испытуемого металла.

Метод торцевого точения. Заготовку в виде диска диаметром $D \geq 150$ мм и толщиной 75—80 мм с просверленным и расточенным отверстием диаметром $D_0 = 30 \pm 35$ мм обтачивают по торцу с глубиной резания $t = 2$ мм и постоянной поперечной подачей резца, например $s = 0,5$ мм/об, в направлении от центра к периферии при постоянном числе оборотов и, следовательно, с возрастающей скоростью резания (фиг. 3) до момента затупления резца.



Фиг. 3.

Для установления зависимости $v = \frac{C}{T^m}$ проводят два

одновременных испытания при n_1 и n_2 оборотах шпинделя в минуту, подобранных так, чтобы затупление произошло на первом проходе на диаметрах D_{n_1} и D_{n_2} , равных не менее 70 мм, при соответствующих скоростях резания v_{n_1} и v_{n_2} м/мин. Значения m и C определяют по формулам

$$m = \frac{2 \lg \frac{n_1}{n_2}}{\lg \frac{v_{n_1}}{v_{n_2}}} - 1;$$

$$C = v_{n_1} \sqrt[m]{\frac{D_{n_1}}{2sn_1(m+1)}}$$

или

$$C = v_{n_2} \sqrt[m]{\frac{D_{n_2}}{2sn_2(m+1)}}$$

где s — поперечная подача в мм/об шпинделя; m — показатель относительной стойкости; C — постоянная величина, характеризующая свойства обрабатываемого материала и условия обработки.

Скорость резания v_T , соответствующая стойкости резца T , определяется по формуле

$$v_T = \frac{C}{T^m} = v_n \sqrt[m]{\frac{D_n}{2sn(m+1)T}}$$

а при $T = 60$ мин.

$$v_{60} = \frac{C}{60^m}$$

или

$$v_{60} = v_n \sqrt[m]{\frac{D_n}{2sn(m+1)60}}$$

Найденная величина v_{60} является основной характеристикой обрабатываемости металла.

Определение обрабатываемости по силе резания. Испытание производят при тех же условиях и тем же методом, что и при определении обрабатываемости по скорости резания, т. е. при сечении стружки $t \times s = 2 \times 0,5$ мм, работе с охлаждением, оптимальной геометрии резца для каждого испытуемого металла и скорости резания v_{60} . Силу резания измеряют при помощи измерительного суппорта (динамометра) при работе незатупившимся резцом через 1—2 мин. после начала резания. Величина силы резания служит дополнительной характеристикой обрабатываемости.

Для определения относительной обрабатываемости материала сравнивают полученные результаты с силой резания, установленной аналогичным путем при обработке стали А12 или стали другой марки, обрабатываемость которой известна.

СОКРАЩЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ МЕТАЛЛА

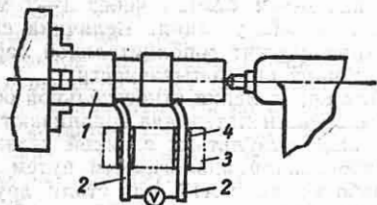
Метод сверления. Испытуемый материал сверлят при постоянной силе подачи, определяемой весом груза P , действующим на шпиндель сверлильного станка. Критерием обрабатываемости служит величина углубления сверла L_n в испытуемый металл за 100 оборотов шпинделя. Сопоставляя величину L_n с величиной углубления L сверла в металл, сравниваемый с испытуемым, определяют относительную обрабатываемость.

Температурный метод. Несколько резцов доводят до полного затупления при определенном сечении стружки и разных скоростях резания и устанавливают зависимость $T = f(v)$. Одновременно измеряют электродвижущую силу термоэлемента в милливольттах ($m\epsilon$), возникающего в процессе резания. По результатам измерений строят в двойной логарифмической сетке графики зависимости ($m\epsilon$) = $f(T)$ и ($m\epsilon$) = $f(v)$.

Задавшись определенной стойкостью T , выбирают по кривой зависимости ($m\epsilon$) = $f(T)$ соответствующее значение электродвижущей силы ($m\epsilon$).

После этого проводят сокращенные испытания резанием и, регулируя обороты шпинделя, определяют скорость резания, при которой показания мильвольтметра соответствуют выбранной величине ($m\bar{v}$), и затем выводят зависимость скорости резания от стойкости реза, глубины резания, подачи и других исследуемых факторов. Проградуировав естественную термопару «резец — изделие» для испытуемых материалов и определив температуру, соответствующую показаниям ($m\bar{v}$), устанавливают зависимость температуры резания от скорости резания $t^{\circ} = f(v)$ или от других исследуемых параметров.

Метод двух резцов. Двумя изолированными друг от друга резцами 2 (фиг. 4)



Фиг. 4. Схема испытания обрабатываемости методом двух резцов: 1 — изделие; 2 — резцы; 3 — резцедержатель; 4 — изоляция.

одинаковой формы и геометрии, но изготовленными из разных материалов (например, из быстрорежущей стали и твердого сплава), одновременно снимают стружку одинакового сечения. Если между двумя резцами включить гальванометр (фиг. 4), то вследствие различных термоэлектрических свойств материала резцов в цепи возникает термоэлектродвижущая сила, пропорциональная температуре резания (обрабатываемый материал при этом играет только роль электрического проводника и не влияет на показания гальванометра).

Сравнивая скорости резания, полученные при одинаковой температуре резания для различных испытуемых материалов, устанавливают их относительную обрабатываемость.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖУЩИХ СВОЙСТВ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

При определении режущих свойств быстрорежущей стали испытанию подвергаются изготовленные из этой стали токарные прямые проходные резцы размером $20 \times 30 \times 200$ мм и концевые фрезы с коническими хвостовиками диа-

метром 45 мм (по ГОСТ 3959-47) с числом зубьев $z = 6$ и углом наклона зубьев к оси фрезы $\omega = 20^{\circ}$.

Одновременно в испытаниях участвует сталь Р18, принимаемая в качестве эталонной. Резцы из этой стали, так же как и испытуемые инструменты, подвергают соответствующей термообработке и проверяют на химический состав, а также на карбидную неоднородность (подробнее см. ГОСТ 3379-46).

Геометрические параметры режущей части резцов выбирают по ГОСТ 2320-43: главный угол в плане $\varphi = 60^{\circ}$; вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 10^{\circ}$; радиус сопряжения задних граней $r = 2$ мм; концевых фрез — по ГОСТ 2321-43.

Испытания инструментов производят при обработке стали 45 по ГОСТ 1050-52 ($H_B = 170 \div 200$), 18ХНВА или 25ХНВА по ГОСТ 4543-48 ($H_B = 320 \div 350$) и чугуна СЧ 28-48 по ГОСТ 1412-54 ($H_B = 180 \div 210$).

Для обработки резцами стальные заготовки должны иметь диаметр D не менее 80 мм и длину $L = 8 \div 10D$, пустотелые чугунные заготовки должны иметь наружный диаметр $D_H = 200$ мм, внутренний диаметр $D_{вн} = 100$ мм и длину $L = 1000 \div 1200$ мм.

Для обработки фрезами применяются квадратные или прямоугольные заготовки из чугуна и стали размерами $80 \times 80 \times 500$ или $60 \times 80 \times 500$ мм.

Испытания производятся тремя резцами при глубине резания $t = 3$ мм и подаче $s = 0,75$ мм/об и тремя фрезами при $t = 4$ мм, ширине фрезерования $B = 20$ мм и подаче на зуб $s_z = 0,1$ мм с охлаждением 5%-ным раствором эмульсола (10 л/мин) при обработке стали и без охлаждения при обработке чугуна. Испытание ведут до полного износа режущих кромок инструментов, которому соответствует износ по задней грани h_3 при работе резца по стали 2—3 мм, при работе резца по чугуну 4—5 мм, при работе концевой фрезы по стали и чугуну 0,6—1,2 мм.

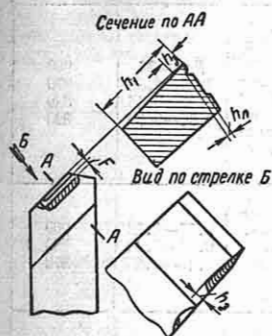
Износ режущей кромки инструмента, определяемый по h_3 , измеряют через определенные промежутки времени в местах, указанных на фиг. 5 для резцов и на фиг. 6 — для фрез с таким расчетом, чтобы получить не менее пяти замеров.

Из каждых трех инструментов отбирают по одному, показавшему при предварительных испытаниях среднюю стойкость, и проводят испытания их режущих свойств при четырех различных

скоростях резания v_1, v_2, v_3 и v_4 , соответствующих стойкости инструментов в пределах от 10 до 80 мин. для резцов и от 20 до 100 мин. для фрез, доводя инструмент до указанной выше

жого типа инструмента из стали Р18 и испытуемой инструментальной стали для каждого обрабатываемого материала.

По графикам $T - v$ устанавливают скорость резания v_{60} , соответствующую 60-минутной стойкости резцов и фрез. Сопоставляя скорость v_{60} испытуемой стали со скоростью резания v_{60} , определенной при тех же условиях испытания быстрорежущей стали Р18, режущие свойства которой принимают за 100%, определяют в процентах относительную скорость резания испытуемой инструментальной стали.



Фиг. 5.



Фиг. 6.

величины износа, и устанавливают соответствующую каждой скорости резания стойкость T_1, T_2, T_3 и T_4 .

По каждому опыту для различной величины стойкости и соответствующего износа подсчитывают продолжительность работы инструмента $K \cdot T$, где K — количество переточек, допускаемых инструментом, и строят кривые $KT - h$ (фиг. 7), где h — величина снимаемого слоя, равная:

для резцов при заточке по передней грани

$$h = h_A + a \text{ мм};$$

при заточке по задней грани

$$h = h_3 \cdot \frac{\sin \alpha}{\cos \gamma} + a \text{ мм};$$

для фрез

$$h = h_3 \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos(\alpha + \gamma)} + a \text{ мм}.$$

Здесь h_A — глубина лунки в мм; h_3 — износ на задней грани в мм; α — задний угол; γ — передний угол; a — допуск на заточку, равный 0,15 мм для резцов и 0,06 мм для фрез.

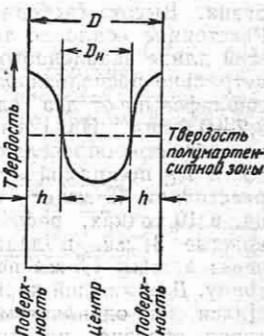
По этим кривым определяют оптимальный износ для каждого опыта и по нему строят графики $T - v$ и выводят зависимость $v = \frac{C}{T^m}$ м/мин для ка-

ИСПЫТАНИЯ НА ПРОКАЛИВАЕМОСТЬ

Прокаливаемость стали характеризуется глубиной проникновения закаленной зоны. За глубину закалки принято принимать расстояние от поверхности до слоя с полумартенситной структурой (50% мартенсита и 50% троостита).

Определение прокаливаемости по распределению твердости

Серию образцов разного диаметра с отношением длины к диаметру $l : D \gg 4$ закаливают в воду (низколегированные и углеродистые стали) или в масло (среднелегированные стали). Из срединных образцов вырезают темплеты (диски). На отшлифованных плоскостях сечений замеряют по двум взаимно перпендикулярным диаметрам твердость по Роквеллу и строят кривые распределения твердости для каждого сечения (фиг. 8). Проведя на графиках горизонтальную линию на уровне твердости полумартенситной зоны (пунктирная линия), определяют на ней величины h , т. е. расстояния от поверхности до линий распределения твердости образцов. Величины h в мм определяют



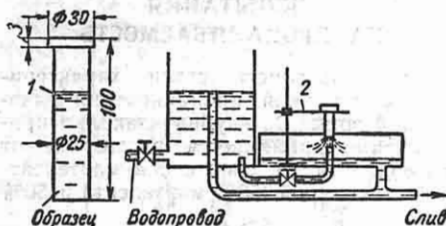
Фиг. 8. Распределение твердости по сечению закаленного бруска.

глубину прокаливаемости для образца данного диаметра при данном способе охлаждения (в воде или масле).

Прокаливаемость можно характеризовать также отношением $D : D_n$ (фиг. 8).

Метод торцевой закалки (по ГОСТ 5657-51)

Метод применяется для определения прокаливаемости конструкционной углеродистой и легированной стали (кроме воздушно закалывающейся). Нормализованный образец 1 диаметром 25 мм и длиной 100 мм (фиг. 9) нагревают под закалку (до температуры,



Фиг. 9.

соответствующей содержанию углерода в стали, см. табл. 1) в муфельной печи с выдержкой при температуре закалки 30 мин., быстро помещают в кронштейн 2 приспособления специальной установки и закалывают холодной струей воды ($t = 10 \div 15^\circ \text{C}$) до полного охлаждения образца. Высота свободной струи 65 мм. Расстояние сопла до торца 12,5 мм. По всей длине закаленного образца на диаметрально расположенных образующих шлифуются два слоя на толщину 0,2—0,5 мм. На обеих шлифованных поверхностях определяют величины твердости R_C по прямой линии, начиная на расстоянии 48 мм от охлаждаемого торца, в 10 точках, расположенных через каждые 3 мм, и далее в 14 точках через каждые 1,5 мм по направлению к торцу. Для каждой пары точек, находящихся на одинаковом расстоянии от торца образца, подсчитывают среднее арифметическое значение твердости.

Результаты измерения наносят на график (фиг. 10).

Вверху графика целесообразно нанести величины скорости охлаждения в град/сек от 700°C , которые соответствуют расстояниям от охлаждаемого торца. Эти скорости устанавливаются экспериментально на основании точных измерений изменения температур в раз-

Таблица 1

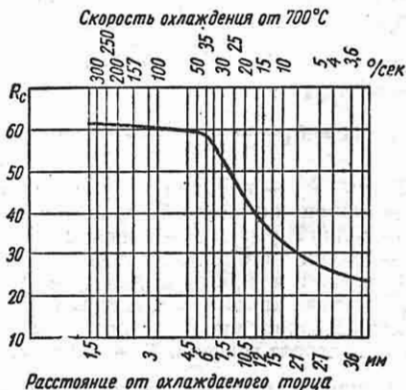
Температура нагрева стали под закалку

| Группа стали | Содержание углерода в % | Температура закалки в $^\circ \text{C}$ |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| Углеродистая, марганцовистая, хромистая, молибденовая, хромо-молибденовая, хромоникелевая (при содержании хрома до 1,25% и никеля до 2%) и никель-молибденовая | До 0,25 | 900 |
| | 0,26—0,36 | 870 |
| | 0,37—0,55 | 840 |
| | 0,56—0,90 | 820 |
| Кремнистая, кремне-марганцевая, хромо-кремнемарганцевая, хромованадиевая, хромомарганцевованадиевая и хромо-молибденованадиевая | 0,15—0,24 | 900 |
| | 0,25—0,44 | 880 |
| | 0,45—0,65 | 870 |
| Хромомарганцевотитановая и хромомарганцевомолибденовая | До 0,25 | 900 |
| Никелевая, хромоникелевая (при содержании хрома более 1,25% и никеля более 2%) и хромоникельмолибденовая | До 0,25 | 840 |

Примечание. Температура 900°C рекомендуется для цементуемых сталей, изделия из которых подвергаются газовой цементации с непосредственной закалкой или с подстуживанием при температуре не ниже 850°C . Для цементации в твердом карбюризаторе температура должна устанавливаться в зависимости от принятой на заводе температуры закалки для изделий из данной стали.

ных точках по длине образца при торцевой закалке; они примерно одинаковы для многих марок сталей.

Расстояние 1 от охлаждаемого торца, на которое распространяется закалка



Фиг. 10. Изменение твердости по длине образца, закаленного с торца.

по длине образца, является критерием прокаливаемости испытуемой марки стали.

Прокаливаемость стали можно выражать числом I_C , где l — расстояние в мм от охлаждаемого торца до точки, имеющей твердость, указанную в табл. 2, для данной марки стали; c — значение этой твердости (R_C).

Таблица 2

| Содержание углерода в % | Твердость R_C полумартенситной зоны | |
|-------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| | Углеродистая сталь | Легированная сталь |
| 0,08—0,17 | — | 25 |
| 0,18—0,22 | 25 | 30 |
| 0,23—0,27 | 30 | 35 |
| 0,28—0,32 | 35 | 40 |
| 0,33—0,42 | 40 | 45 |
| 0,43—0,52 | 45 | 50 |
| 0,53—0,62 | 50 | 55 |

Пример. Для углеродистой стали с содержанием углерода 0,45% твердость c , равная $R_C = 45$, получена на расстоянии 9,0 мм от охлаждаемого торца. В этом случае прокаливаемость выражается числом 9,0₄₅.

Прокаливаемость высоколегированной стали рекомендуют определять на удлинённых (до 150 мм) образцах, верхнюю часть которых (после нагрева образца до температуры закалики) длиной 50 мм помещают в печь с массивным стальным сердечником, нагретым до 650°С, а нижний торец охлаждают струей воды в течение 1 часа, после чего весь образец опускают в воду. После охлаждения образец испытывается по длине на твердость R_C и по результатам строятся обычная кривая прокаливаемости.

ИСПЫТАНИЯ НА СВАРИВАЕМОСТЬ

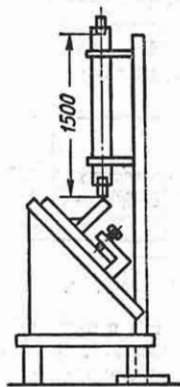
Определение склонности стали и швов к образованию трещин

Метод Института электросварки имени Е. О. Патона [6]. Тавровые образцы (фиг. 11), состоящие из полок размером 150 × 400 мм и вертикальных стенок размером 100 × 400 мм, собранные на прихватах, закрепляются в приспособлении и свариваются угловым швом «в лодочку» на длину 250—350 мм. По кромкам тавров через 3, 5, 8, 10 и 15 сек. с момента прекращения сварки наносят удары падающей бабой. Наи-

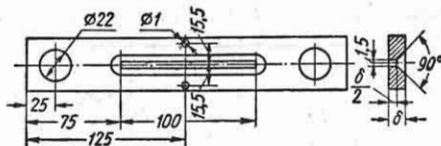
большее время, при котором удар вызывает образование трещины, служит критерием при оценке склонности швов к образованию горячих трещин.

При автоматической сварке под слоем флюса испытываются образцы толщиной 14—20 мм при силе тока 750—800 а, напряжении на дуге 34—36 в, скорости сварки 30 м/час и энергии удара 10 кГм.

Метод МВТУ имени Баумана [6]. Образец испытуемой стали (фиг. 12) закрепляется в зажимах испытательной машины (фиг. 13). В разделку образца полуавтоматом наплавляется шов испытуемым электродом диаметром 5 мм со скоростью наплавки 12—13 см/мин

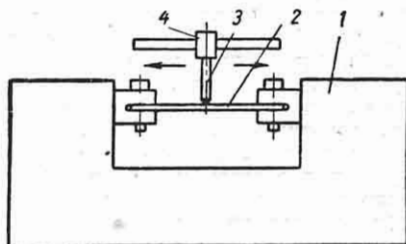


Фиг. 11.



Фиг. 12.

при силе тока 200 а. Когда дуга находится в середине образца, включается механизм, растягивающий образец с определенной скоростью деформации, причем



Фиг. 13. Схема испытания по методу МВТУ имени Баумана: 1 — машина; 2 — образец; 3 — электрод; 4 — автомат для наплавки.

наплавка продолжается до конца разделки. По окончании наплавки машину выключают, вынимают образец и осматривают его.

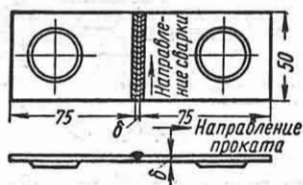
Мерой склонности к образованию трещин в швах служит предельная величина деформации (определяемая скоростью деформации, задаваемой машиной), при которой в металле шва, находящемся в температурном интервале хрупкости, только начинают возникать горячие трещины.



Фиг. 14.

На пластину из испытуемой стали от края к середине перпендикулярно направлению проката наплавляется валик (фиг. 14). При чувствительности стали к появлению трещин последние обнаруживаются на обратной стороне образца.

Определение склонности к образованию горячих трещин тонкой листовой стали при газовой сварке [1], [6]. Из испытуемой тонколистовой стали вырезают две пластинки (фиг. 15). Пластинки зажимают в приспособлении так, чтобы



Фиг. 15.

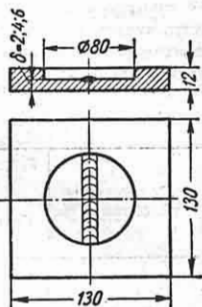
зазор между ними был равен толщине пластинок, и с такой силой, чтобы под нажимными винтами образовались вмятины. Затем производится сварка пластин встык при режиме, соответствующем данной марке стали и данным размерам образцов. После охлаждения до температуры ниже 500°C сваренный образец вынимают из приспособления, обдувают пескоструйным аппаратом и осматривают под лупой. Склонность к образованию трещин выражают процентным отношением суммарной длины трещин, обнаруженных с одной стороны шва, где они оказались наибольшими по длине, к длине шва.

Определение склонности стали к образованию холодных трещин (метод Кировского завода) [6]. В середине пластин (фиг. 16) из испытуемой стали делают выточки диаметром 80 мм, с тем

чтобы доньшки имели толщину, равную 2, 4 и 6 мм. По диаметру выточек наплавляют валики при охлаждении наружной (нижней) поверхности металла проточной водой.

По результатам испытаний стали классифицируют по следующим четырем группам:

- 1) хорошо сваривающаяся сталь, на которой не образуются трещины при наплавке с охлаждением водой;
- 2) удовлетворительно сваривающаяся сталь, на которой при наплавке с охлаждением водой образуются трещины, но они не образуются при наплавке с охлаждением на воздухе;
- 3) ограниченно сваривающаяся сталь, которая требует для предупреждения образования трещин подогрева образца перед наплавкой до $100-150^{\circ}\text{C}$ и охлаждения на воздухе;
- 4) плохо сваривающаяся сталь, которая требует подогрева до температуры, превышающей 150°C (до 300°C и выше).

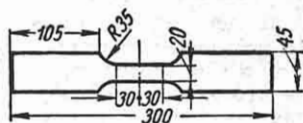


Фиг. 16.

Определение степени изменения свойств стали в околосварочных зонах [1]

Метод НИИ. Для испытания листовой стали толщиной до 15 мм от края листов вырезают вдоль проката шесть заготовок размером 300×45 мм. Заготовки поочередно устанавливают в зажимы стыковой сварочной машины при расстоянии между последними 65 мм и включают ток такой силы, чтобы средняя часть заготовки на длине 50 мм нагрелась до температуры $1320-1360^{\circ}\text{C}$ в течение не более 30 сек.

После охлаждения на воздухе из одной заготовки изготавливают образец для испытания на растяжение (фиг. 17).



Фиг. 17.

а из другой — образец для испытания на изгиб. Из остальных заготовок изготавливают аналогичные образцы (два для

испытания на растяжение и два для испытания на изгиб) после нормализации по режимам, принятым для стали данной марки, и производят испытания всех шести образцов.

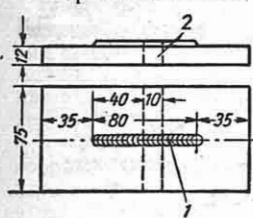
Сопоставляя результаты испытания на растяжение и изгиб, определяют ориентировочную величину и характер изменения свойств стали в околосварочных участках (при дуговой сварке).

Для испытания стали толщиной более 15 мм вытачивают из нее шесть заготовок диаметром $15 \pm 0,1$ мм и длиной 150 ± 1 мм. Нагрев заготовок до $1320-1360^\circ \text{C}$ производят в стыковом сварочном аппарате при расстоянии между зажимами 100 мм в течение не более 10 сек. (для этого подбирается соответствующая сила тока). Из средней части охлажденных на воздухе (при расстоянии между образцами не менее 80 мм) заготовок изготавливают образцы и производят их испытание, как указано выше.

Если значения пластических свойств (удлинение, сужение поперечного сечения, ударная вязкость) после испытания не выходят за нижние пределы установленных стандартами соответствующих показателей свойств стали данной марки, сталь относится к хорошо свариваемой (ХС).

Если значения пластических свойств вышли за нижние пределы, но восстанавливаются после соответствующей термообработки в пределах наименьших требований соответствующих стандартов, сталь считается обладающей средней свариваемостью (СС). Если пластические свойства резко перешли нижний предел, требуемый стандартами и не восстанавливаются после термообработки, сталь относится к плохо свариваемой (ПС).

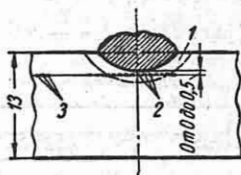
Метод, основанный на определении изменений твердости стали. На планку из нормализованной стали (фиг. 18)



Фиг. 18.

вырезают образец 2. На отшлифованной поверхности образца (фиг. 19)

измеряют твердость по пирамиде при выдержке под нагрузкой 10 кг в течение 10 сек. Отсчет твердости производится: 1) на средней линии валика на расстоянии от 0 до 0,5 мм от нижней границы расплавленного металла в зоне термического влияния (фиг. 19, 1); 2) с правой и левой стороны с промежутками 0,75 мм по линии, параллельной поверхности планки (фиг. 19, 2). Если твердость в зоне термического влияния нигде не превышает исходную* на 100 единиц по H_n , сталь может считаться обладающей хорошей свариваемостью.

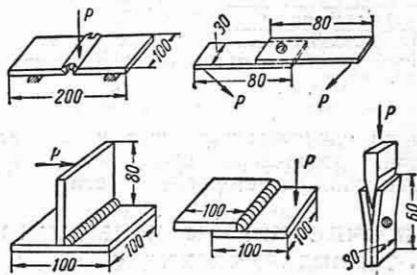


Фиг. 19.

Определение внутренних дефектов в изломе (по ГОСТ 3242-54)

Форма и размеры образцов должны соответствовать фиг. 20.

Образцы подвергаются разрушению путем приложения силы P , как показано на фиг. 20.



Фиг. 20.

Место разрушения осматривают с применением лупы ($\times 10$) или без лупы по соглашению сторон, при этом определяют: сплавление металла, характер излома соединения, наличие непровара и др.

Испытание сварного соединения на изгиб (по ГОСТ 6996-54).

Качество шва (пластичность стыкового соединения при изгибе) определяется по углу изгиба α (внешнему) при образовании первой трещины в любом месте образца. Формы

* Исходная твердость стали определяется в трех точках вне зоны термического влияния на расстоянии 25 мм от средней линии валика (фиг. 19, 3).

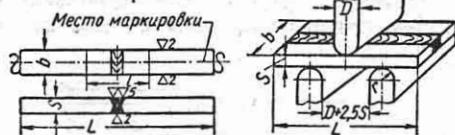
образцов приведены на фиг. 21 и 22. Усиление шва снимают до уровня основного металла, Ширина образцов $b = S + 30$ мм при $S \geq 5$ мм и $b = S + 15$ мм при $S < 5$ мм для образца по фиг. 21 и $b = 1,5S$ для образца по фиг. 22. Длина образца $L = D + 2,5S + 80$ мм, где D^* — диаметр оправки (фиг. 23)**; $l = \frac{L}{3}$ мм; $r = S \leq 25$ мм. Ис-



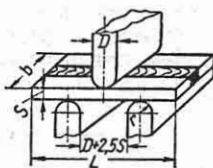
Фиг. 21.

пытания должны проводиться при плавном нарастании силы давления на образец со скоростью движения пуансона не более 15 мм/мин.

В растянутой зоне образца располагаются поверхностные слои при испы-



Фиг. 22.



Фиг. 23.

тании одностороннего шва и шов или слои, заваренные последними, — при испытании двустороннего шва.

ПРОЧИЕ МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ

Испытание листового металла толщиной до 2 мм на вытяжку в холодном состоянии. Качество металла определяется способностью его к вытяжке без повреждений.

Образец размерами 70×70 мм прижимается прижимом к матрице прибора. Пуансон с шарообразным наконечником вдавливают в образец до появления на последнем мелких трещин. Величина

* Размер D указывается в технических условиях, а при отсутствии указаний принимается равным двум толщинам основного металла.

** На фиг. 23 показана схема испытания образца по фиг. 21. Образец по фиг. 22 при испытании располагается так, чтобы шов пришелся вдоль оправки.

перемещения пуансона (глубина вытяжки) служит критерием качества металла.

Более близкие к условиям вытяжки в штампах результаты дают испытания на вытяжку цилиндрического колпачка.

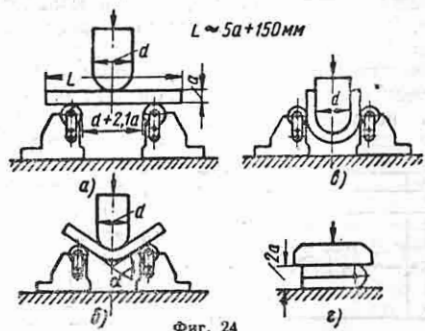
Три образца в виде круглых заготовок подвергаются вытяжке в цилиндрические колпачки на специальном приборе, конструкция которого разработана ЦНИИТМАШ. По результатам испытания определяют предельную

степень вытяжки $K = \frac{D}{d}$, при которой произойдет разрыв колпачка. Здесь D — диаметр заготовки, d — диаметр колпачка.

Доброкачественный металл должен давать глубину вытяжки не ниже норм, указанных в технических условиях; поверхность колпачка должна быть чистой и гладкой, разрыв колпачка должен произойти по окружности.

Испытание на изгиб в холодном и нагретом состоянии (по ГОСТ 1683). Качество материала (толщиной не более 30 мм) определяется по способности образца допускать изгиб на заданный угол вокруг оправки различной кривизны (или без оправки до соприкосновения сторон) без повреждений, указываемых в технических условиях.

Ширина b испытуемых образцов из листового, фасонного и полосового материала с шириной полосы ≥ 100 мм должна быть равна двойной толщине a , но не менее 10 мм, толщина образца должна быть равна толщине материала; при ширине полосы меньше 100 мм и для пруткового материала поперечное сечение образца должно быть равно



Фиг. 24.

поперечному сечению материала. Длина образца $L \approx 5a + 150$ мм. Размеры образцов для поковок, отливок и труб оговариваются в технических условиях.

Образцы вырезаются в холодном состоянии из краев листов и концов полос и прутков, причем линия разреза должна находиться от края готового образца на расстоянии не меньше толщины материала и не ближе 10 мм.

Схема испытаний показана на фиг. 24, а—г. Испытание производится плавным давлением на образец при помощи прессов, специальных машин, тисков с закругленными губками и т. п.

Испытание изгибом на незакаливаемость (по ОСТ 1684). Качество материала определяется по свойству образца допускать без повреждения изгиб на заданный угол вокруг оправки различной кривизны до параллельности сторон или без оправки до соприкосновения после резкого, как при закалке, изменения температуры.

Образец для испытания листового, фасонного и полосового материала выбирается так, как это указано выше для испытания на изгиб по ОСТ 1683, и перед испытанием нагревается до темно-вишнево-красного каления ($650\text{--}700^\circ\text{C}$) и охлаждается в воде с температурой $20\text{--}30^\circ\text{C}$.

Испытания производятся по схеме, указанной выше (см фиг. 24), после полного охлаждения образца.

Испытание на осадку в холодном состоянии (по ОСТ 1686). Качество материала определяется по свойству образца выдерживать без повреждения осаживание до заданной высоты. Испытание применяется для круглого болтозащепочного и связевого материала диаметром до 30 мм.

Форма образца — цилиндр диаметром d и высотой $h = 2d$.

Образцы диаметром до 15 мм осаживаются молотком или кувалдой, а диаметром свыше 15 мм — под прессом до высоты h_1 , заданной отношением $x = h_1 : h$.

Испытание на перегиб (по ОСТ 1688). Качество материала (проволоки и прутков фасонного сечения площадью $F \leq 120\text{ мм}^2$, полосового и листового материала толщиной $a \leq 5\text{ мм}$) определяется по свойству образца, зажатого в губках прибора, выдерживать без повреждений заданное число повторных перегибов в холодном состоянии на угол 90° попеременно в противоположные стороны со скоростью не более 60 перегибов в минуту.

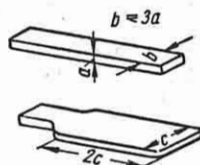
Для полосового материала шириной более 20 мм и листового всех размеров

ширина образца должна быть равной $\sim 2a + 10\text{ мм}$, толщина образца должна быть равна толщине материала; для проволоки фасонного сечения и полосового материала шириной $\leq 20\text{ мм}$ сечение образца должно быть равно сечению материала. Длина образца $L = 150\text{ мм}$.

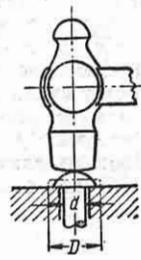
Радиус r закругления губок прибора выбирается равным 2; 4; 6; 8 или 10 мм по указанию в технических условиях.

Испытание на перегиб проволоки (и прутков) круглого сечения диаметром от 0,8 до 7,0 мм (по ГОСТ 1579-42). Качество материала определяется по свойству образца длиной $L \approx 100 \div 150\text{ мм}$, зажатого в губках прибора, выдерживать без повреждений заданное число повторных перегибов на угол 90° попеременно в противоположные стороны со скоростью, приблизительно равной 60 перегибов в минуту (схему прибора и его размеры см. ГОСТ 1579-42).

Испытание на расплющивание (по ОСТ 1693). Качество материала опре-



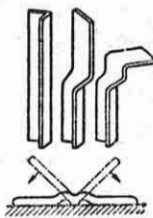
Фиг. 25.



Фиг. 26.

деляется по свойству образца расплющиваться в холодном или нагретом состоянии при заданных условиях без повреждений (трещин, надрывов).

Расплющивание прокатного материала производится ударами ручника или кувалды с закругленными в фасках головками или при помощи механического молота до получения полосы шириной s , указанной в технических условиях, длиной $2c$ (фиг. 25). Расплющивание защепочных головок производится ударами ручника, направленными по оси защепок, до пределов, заданных отношением $\frac{D}{d}$ (фиг. 26).



Фиг. 27.

Испытание на разгибание (развертывание) фасонного материала (по ОСТ 1694). Качество материала опре-

деляется по свойству образца выдерживать без повреждений разгибание находящихся под углом стенок образца в плоскость (фиг. 27) с последующим загибом.

Испытание производится ударами ручника, кувалды или молота в холодном или нагретом состоянии в зависимости от технических условий.

Испытание на навивание проволоки (по ОСТ 1695). Качество проволоки диаметром не более 6 мм определяется по ее свойству выдерживать без повреждения навивание плотной спиралью в холодном состоянии на цилиндрический стержень при заданных условиях или при отсутствии указаний — на самое себя. В последнем случае образец длиной 50 см сгибают U-образно, один конец плотно зажимают в тисках со свинцовой прокладкой, другой — навивают вокруг первого конца плотной спиралью с числом витков от 5 до 10.

Испытание проволоки диаметром до 10 мм на скручивание (по ГОСТ 1545-42). Качество проволоки определяется по свойству куска ее заданной длины выдерживать без повреждения закручивание на заданное число оборотов.

Образец длиной $L = 100d$ (не менее 50 и не более 500 мм) зажимают

в захватах специального прибора и скручивают со скоростью около 60 об/мин для диаметра проволоки $d < 3$ мм и около 30 об/мин для диаметра проволоки до $d \geq 3$ мм до разрушения.

По числу скручиваний судят о способности металла к пластической деформации, по виду излома и поверхности скрученного образца судят о наличии дефектов.

Испытание листового металла толщиной до 0,8 мм на двойной кровельный замок в холодном состоянии (по ОСТ 1697). Качество материала определяется по способности двух его кусков соединяться в холодном состоянии без повреждения в плотную двойным замком длиной не менее 150 мм с последующим загибом по линии, перпендикулярной к линии замка, на заданный угол (но не больше 45°) и разгибом в плоскость на деревянной подкладке при помощи киянки.

ИСПЫТАНИЯ ТРУБ

Испытания труб на раздачу см. ОСТ 1689, на обжатие — ОСТ 1690, на изгиб — ГОСТ 3728-47, на сплющивание — ОСТ 1692 и ГОСТ 6996-54.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Алов А. А., Пробы на свариваемость, Энциклопедический справочник „Машиностроение“, т. 3, Машгиз, 1947.
2. Болховитинов Н. Ф., Металловедение и термическая обработка стали, Металлургиздат, 1954.
3. Даниэлян А. М., Резание металлов и инструмент, Машгиз, 1950.
4. Фурорян Б. С., Пробы на механическую

обрабатываемость, Энциклопедический справочник „Машиностроение“, т. 3, Машгиз, 1947.

5. Фельдштейн Э. И., Обрабатываемость сталей, Машгиз, 1953.
6. Справочные материалы для сварщиков, Машгиз, 1952.
7. Погоян-Алексеев Г. И. и др., Методы испытаний сварных соединений и конструкций, Машгиз, 1952.

ГЛАВА III

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА И ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ

Свойства сплавов определяются их составом и внутренним строением.

Ниже излагаются современные химические и физические методы определения химического и фазового состава, а также структуры сплавов.

Наряду с этим изложены методы обнаружения дефектов в металлах и изделиях из них (усадочных раковин, газовых включений, трещин и т. д.).

ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

В зависимости от назначения методы химического анализа разделяются на особо точные (арбитражные и контрольные), маркировочные (применяющиеся при сдаче — приемке металла или изделий) и ускоренные или экспрессные (для контроля в процессе производства).

Для химического анализа используются средние пробы образцов в виде стружки, которую получают сверлением, строганием или фрезерованием.

Если образцы не поддаются сверлению (закаленная сталь), их предварительно подвергают отжигу в муфельной печи и последующему охлаждению с учетом химического состава образца [1]; [4].

Анализ стали и чугуна. Углерод в стали находится преимущественно в связанном состоянии в виде карбидов. В сером чугуне он присутствует главным образом в виде графита и частично в виде карбидов.

Определение общего углерода производится по ГОСТ 2331-43 и 2604-44 методом сжигания с газообъемным окончанием. При определении малых и весьма малых содержаний углерода применяется баритовый метод, при котором CO_2 поглощают избытком титро-

ванного раствора $\text{Ba}(\text{OH})_2$; избыток $\text{Ba}(\text{OH})_2$ сттитровывают раствором кислоты. По разности находят количество $\text{Ba}(\text{OH})_2$, прореагировавшего с CO_2 , а отсюда и количество $\text{CO}_2(\text{C})$.

Для анализа высококарбидных сплавов (твердых и сверхтвердых) применяется весовой метод, при котором образующуюся при сжигании навески CO_2 поглощают аскаритом (асбест, пропитанный едким натром), натронной известью или едкой щелочью (сухой или в растворе) и привес CO_2 взвешивают.

Сожжение навесок углеродистой и низколегированной стали и чугуна производится при 1100—1150° С; специальная сталь (жаропрочная, нержавеющая и т. п.) требует температуры 1250° С и выше и применения плавней (свинец, медь, олово или окислы Ca , V и Co).

Для определения связанного углерода иногда применяется колориметрический метод, основанный на сравнении окрасок, образующихся при растворении стали (углеродистой) в HNO_3 [4].

Определение графита производится путем растворения металла в HNO_3 (при высоком содержании кремния в присутствии HF), отфильтровывания графита на асбестовый фильтр или кварцевый фильтр-тигель и сжигания по методу определения общего углерода газообъемным методом [4].

Марганец находится в стали преимущественно в виде карбидов, например Mn_3C , простых или двойных с цементитом и частично присутствует в твердом растворе в феррите; часть его образует сульфиды, например MnS .

Определение марганца производится преимущественно объемными методами, основанными на его окислении до марганцевой кислоты ($\text{Mn}_{II} \rightarrow \text{Mn}_{VII}$) и титровании растворами восстановителей.

ГОСТ 2331-43 и 2604-44 рекомендуют для арбитражных анализов персульфатный арсенитно-нитритный способ.

Для экспрессных анализов заводские лаборатории применяют персульфатно-арсенитный [4] или персульфатно-тиосульфатный способ, а также спектральный метод.

Сер а в стали и чугуна образует сульфиды железа или марганца, в легированной стали образует соединения с W, Mo, Cr и др. Для определения серы ГОСТ 2331-43 рекомендует метод сжигания в токе кислорода; образующуюся двуокись серы поглощают в специальных приборах и заканчивают определение иодометрическим титрованием. Для контрольных и арбитражных анализов иногда применяется весовой способ — взвешивание в виде $BaSO_4$.

При анализе углеродистой стали, а с некоторыми органическими и для чугуна, может быть применен метод отгонки с объемным иодометрическим окончанием [1]; [4].

Ф о с ф о р в стали находится в твердом растворе в феррите; в сером чугуна он образует фосфиды.

Методы определения Р в черных металлах основаны на переводе его в фосфорную кислоту растворением в HNO_3 и доокислением низших кислот фосфора кипячением с $KMnO_4$.

Для контрольных и маркировочных анализов обычно применяется объемный метод: осадок фосфомолибдата растворяют в избытке титрованной щелочи и оттитровывают этот избыток раствором кислоты.

Для маркировочных и экспресс-анализов рекомендуется колориметрический и фотоколориметрический методы.

Определению мешают W, V, Ti, Zr, Nb и некоторые другие элементы; они должны быть предварительно отделены или их влияние должно быть исключено.

Кремний содержится в черных металлах в виде твердого раствора в феррите и в форме силицидов.

Определение кремния в черных металлах основано на образовании при растворении в кислотах силианов или хлоридов кремния, которые тотчас же подвергаются гидролизу, образуя кремниевую кислоту. Выпариванием с соляной или серной кислотами ее переводят в нерастворимое состояние, отфильтровывают и после прокалывания при $1050-1100^\circ C$ взвешивают образовавшийся SiO_2 .

Для экспресс-анализа применяют фотоколориметрический и спектральный методы.

Х р о м присутствует в стали (чугуне) в виде простых или сложных карбидов или в виде твердого раствора в железе.

Обычно определение Cr производят объемными методами, основанными на окислении его до хромовой кислоты и титровании восстановителями или с применением обратного титрования.

ГОСТ 2604-44 рекомендует для маркировочных и арбитражных анализов метод окисления персульфатом аммония и титрования растворами соли Мора и $KMnO_4$.

Другой вариант — прямое титрование солью Мора в присутствии редоксиндикаторов, например дифениламинсульфоната $Ba(Na)$ или фенилантранилового-кислого натрия.

Для арбитражных анализов может быть рекомендован весьма точный потенциометрический метод.

Малые количества хрома могут быть весьма точно определены колориметрическим или фотоколориметрическим методами [1]; [4].

Н и к е л ь находится в стали (чугуне) преимущественно в виде твердого раствора в железе.

ГОСТ 2604-44 рекомендует для арбитражных анализов весовой метод — взвешивание никеля в виде глиоксимата после высушивания при $110-120^\circ C$. Другой вариант состоит в прокалывании осадка глиоксимата никеля (при $800-900^\circ C$) и взвешивании осадка NiO .

Для точных анализов может быть применен электролитический, а также полярографический метод.

Малые количества никеля очень точно можно определить колориметрическим (или фотоколориметрическим) диметилглиоксимовым методом.

Пригодным для экспресс-анализов является объемный цианометрический метод. Определению мешает присутствие меди, кобальта и больших количеств хрома, которые необходимо отделить.

В о л ь ф р а м присутствует в стали в форме простых карбидов WC , W_2C , двойных карбидов с цементитом $Fe_3C \cdot 3WC$, $3W_2C \cdot 2Fe_3C$, вольфрамовидов Fe_3W и частично в виде твердого раствора в феррите.

ГОСТ 2604-44 рекомендует весовой метод: выделение вольфрамовой кислоты производят с помощью 0,1%-ного

раствора технической желатины и прокаливают при 800—850° С. После взвешивания нечистого осадка WO_3 его освобождают от SiO_2 обычным путем, а затем, внося поправки на CO , соосажденные Mo , V и Cr , находят вес чистой WO_3 .

Для определения небольших содержаний вольфрама — до 3% (или несколько выше) применяют колориметрический или фотоколориметрический метод.

Ванадий может присутствовать в стали (чугуне) в виде весьма устойчивых простых карбидов V_4C_3 , VC , сложных карбидов с цементитом и в состоянии твердого раствора.

Обычно ванадий определяют объемным персульфатным методом; ГОСТ 2604-44 рекомендует метод с применением фенол-антрапиловой кислоты в качестве редоксиндикатора.

Весьма точным является метод с применением мочевины и потенциметрический метод [1]; [4].

Молибден находится в стали в виде простых карбидов, сложных карбидов с цементитом и частично в твердом растворе в феррите.

Определение Mo производится по ГОСТ 2604-44 весовым методом — осаждение в виде молибдата свинца после отделения от железа и других компонентов едкой щелочью. Отделение Mo от других компонентов (кроме W) может быть произведено хроматографическим методом — осаждением на катионитах.

Для ускоренных и маркировочных анализов применяется объемный метод: титрование раствором $KMnO_4$ после восстановления металлическим цинком или кадмием в редукторе или жидкими амальгамами в специальном приборе.

Молибден при содержании его 2,5—3% быстро и достаточно точно можно определить колориметрическим роданидным методом.

Кобальт может находиться в стали в виде твердого раствора в железе.

Чаще всего для точного определения Co применяется метод с α -нитрозо- β -нафтолом; осаждение производится после отделения мешающих элементов (Fe и др.). Взвешивание производят при малом содержании Co в виде Co_3O_4 , при высоком содержании Co производят восстановление прокаливанием в атмосфере водорода при 800—850° С и взвешивают в виде металла или в виде $CoSO_4$.

Контрольные и арбитражные анализы производят потенциметрическим методом, ускоренные анализы — объемным цианометрическим методом аналогично определению Ni .

Для ускоренных анализов применяют также различные варианты колориметрических и фотоколориметрических методов.

Медь находится в стали (чугуне) в виде твердого раствора в феррите.

Определению меди предшествует отделение ее от железа и других элементов кипячением с тиосульфатом или цементацией.

Заканчивают определение весовыми методами: электролитическим (внешним и внутренним) или взвешиванием в виде CuO ; объемным иодометрическим методом или колориметрическими методами: с аммиаком или с $K_4Fe(CN)_6$ [1]; [2].

Титан находится в стали (чугуне) в виде твердого раствора в феррите, образует нитриды и карбиды.

Перед определением титан отделяют от других элементов осаждением купферонам.

ГОСТ 2604-44 рекомендует метод неразстворимого остатка с доосаждением купферонам и колориметрическим окончанием.

Находит применение колориметрический метод с хромотроповой кислотой; благодаря высокой чувствительности возможно производить колориметрирование и фотометрирование на фоне всех компонентов стали.

Алюминий находится в стали в виде твердого раствора, частично в форме окиси (Al_2O_3) или нитрида (AlN).

Алюминий отделяют электролизом с ртутным катодом или щелочным методом и осаждают аммиаком или оксихинолином. Находит применение метод двойного фторида (криолитовый) [3].

Азот присутствует в стали преимущественно в связанном состоянии — в форме нитридов, а также может находиться в виде твердого раствора в железе или в свободном состоянии в порах, газовых пузырях и т. п.

Для определения связанного азота навеску растворяют в HCl или H_2SO_4 ; разложение сталей сложного состава, содержащих устойчивые нитриды, производят специальными приемами [1].

Цирконий. Для определения Zr применяются весовые методы — фосфатный или фениларсоновый [1]; [2].

Н и о б и й определяется вместе с танталом. Ниобий (и тантал) образует карбиды и частично твердый раствор в феррите.

Определение Nb(Ta) производят весовым методом после его гидролиза из HClO_4 , HCl или H_2SO_4 раствора [2] или осаждением феноларсоновой кислотой.

Б о р вводят в сталь в ничтожно малых количествах (0,001—0,003%), поэтому определение его производят колориметрическим методом, лучше всего после перегонки в виде метилбората [4].

С в и н ц находится в стали в свободном состоянии в виде мелкокристаллических включений.

Определение свинца производят колориметрическим или полярографическими методами.

С е л е н вводят в сталь в количестве 0,1—0,3%. Для определения Se применяют весовой метод — выделение его в элементарном состоянии при помощи газообразного SO_2 или водного раствора сульфита или гидразина.

Анализ медных сплавов. Б р о н з а. Медь. При электролитическом методе Cu осаждают из азотнокислого, серно-азотнокислого или аммиачного раствора. ГОСТ 1953-54 рекомендует электролитическое определение Pb и Cu.

Для определения меди ГОСТ 1953-54 рекомендует электролитический метод — осаждение из азотносернокислого раствора. В бронзах марок Бр. ОЦ 4-4-17 рекомендуется предварительное отделение свинца в виде сульфата вместе с метаоловянной кислотой.

О л о в о. При объемном методе олово в солянокислом растворе восстанавливают ($\text{Sn}_{\text{IV}} - \text{Sn}_{\text{II}}$) металлическим Pb, Fe или Ni в атмосфере CO_2 и титруют иодометрическим методом. ГОСТ 1953-54 рекомендует осаждать Sn вместе с гидроксидом железа аммиаком и далее закончить определение объемным иодометрическим методом после восстановления Al (мет.).

При весовом методе навеску выпаривают с HNO_3 и NH_4NO_3 , выделяющийся осадок отфильтровывают, прокалывают и взвешивают в виде SnO_2 .

С в и н ц определяют после отделения Sn весовыми методами (взвешиванием в виде PbSO_4 , PbCrO_4) или электролитическим методом (см. выше — определение меди). По ГОСТ 1953-54 навеску растворяют в HNO_3 , выпари-

вают с добавкой NH_4NO_3 , отфильтровывают метаоловянную кислоту и осаждают Pb электролитическим методом (в виде PbO_2).

Ж е л е з о и **а л ю м и н и й**. По ГОСТ 1953-54 для определения Al осадок гидроокисей растворяют в H_2SO_4 и после электролиза с ртутным катодом определяют Al колориметрическим методом с алюминоном визуально. Для определения Fe осадок гидроокисей растворяют в $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HNO}_3$ и заканчивают определение колориметрическим методом с сульфосалициловой кислотой в аммиачной среде визуально или в колориметре.

Н и к е л ь определяют в фильтрате после отделения Cu, Pb и Sn (Sb) сероводородом или электролизом, осаждением диметилглиоксимом в присутствии лимонной или винной кислоты. ГОСТ 1953-54 рекомендует осаждение диметилглиоксимом с весовым окончанием — взвешивание глиоксимата никеля на стеклянном фильтр-тигле.

М а р г а н е ц определяют персульфатным методом (после отделения Sn); титрованием раствором арсенитнитрита или тиосульфата. Персульфатный арсенитнитритный метод рекомендован ГОСТ 1987-43 [1].

Ц и н к. Определение производят после отделения Cu, Pb и Sn (Sb). По ГОСТ 1953-54 цинк осаждают в виде фосфата и заканчивают определение объемным методом.

М ы ш ь я к. Определение мышьяка может быть произведено: а) объемным иодометрическим методом после отгонки в виде AsCl_3 ; б) после выделения гипофосфитом натрия или в) колориметрическими методами.

С у р ь м а. Определение сурьмы производится колориметрическим методом. ГОСТ 1953-54 рекомендует вариант колориметрического метода с применением КJ и мочевины.

К р е м н и й. Для определения кремния навеску сплава растворяют в царской водке и заканчивают определение колориметрическим методом путем измерения желтой окраски гетерополикислоты или синей церулеокислоты.

Ф о с ф о р. Применяют обычный молибдатный способ с объемным или весовым окончанием. ГОСТ 1953-54 рекомендует объемный вариант молибдатного метода. Удаление мышьяка производится выпариванием с бромисто-водородной и соляной кислотами [1].

Анализ латуни. Медь. Определение меди может быть произведено электролитическим методом подобно определению ее в бронзе.

Для экспрессных и ускоренных определений применяется иодометрический метод или электролиз с повышенной плотностью тока до 13 а/см^2 [4].

Цинк. Обычно содержание цинка находят по разности. Если требуется прямое определение, применяют сероводородный метод (в слабосерноокислой или муравьинокислой среде) или электролитический метод (из щелочной среды) с применением омедненных сетчатых электродов.

Олово определяется весовым или объемным способом подобно определению его в бронзе.

Висмут. Для определения висмута рекомендуется колориметрический метод, при котором измеряется окраска, образуемая висмутом с KJ [1].

Фосфор, мышьяк, сурьма определяются, как в бронзе.

Анализ алюминия и его сплавов. Кремний. Определение производится весовыми методами: а) навеску растворяют в смеси трех кислот, выпаривают до паров SO_3 , отфильтровывают, прокачивают и взвешивают осадок SiO_2 , как обычно; б) сплавлением: навеску растворяют в смеси азотной, соляной и серной кислот и выпаривают; осадок ($\text{SiO}_2 + \text{Si}$) отфильтровывают, прокачивают и сплавляют с безводным KNaCO_3 ; сплав обрабатывают HCl и оканчивают определение обычным путем; в) методом обработки HF : полученный по предыдущему осадок ($\text{SiO}_2 + \text{Si}$) обрабатывают HF , а затем $\text{HF} + \text{HNO}_3$; по уменьшению веса осадка находят содержание SiO_2 , а затем Si ; г) щелочным методом — навеску растворяют в 10—12%-ном растворе щелочи, раствор подкисляют H_2SO_4 , добавляют немного HCl и HNO_3 , выпаривают и заканчивают определение обычным путем [1].

Медь. Определение Cu (и одновременно Pb) производится электролитическим способом [1].

Железо. Определение производится объемными методами—титрованием перманганатом или бихроматом калия или же иодометрическим путем [1].

Цинк. Определение цинка осуществляется сероводородным или электролитическим методами.

Ускоренное определение Cu , Pb , Fe и Zn может быть произведено из одной навески.

Кроме указанных элементов в алюминии и его сплавах, иногда определяют марганец, магний, никель и другие элементы.

Анализ металлического магния и его сплавов. Кремний. Определение производят: а) растворением 5—10 г Mg -сплава в большом стакане прибавлением небольших порций HNO_3 , после чего выпаривают с H_2SO_4 ;

б) растворением 5—10 г Mg -сплава в концентрированном растворе NH_4Cl , насыщенном бромом. Заканчивают определение весовым путем.

Хорошие результаты дают колориметрический и фотоколориметрический методы.

Железо и алюминий. В фильтрате после определения Si осаждают Al и Fe аммиаком [без $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$] в присутствии больших количеств NH_4Cl по индикатору фенолроту. Заканчивают определение, как при анализе бронзы или латуни [4].

Медь. Cu осаждают электролитическим или сероводородным методом подобно определению в алюминии [4].

Анализ баббитов. Сурьма. Навеску баббита растворяют в концентрированной H_2SO_4 , прибавляют HCl и воду, охлаждают и титруют раствором KMnO_4 ; одновременно титруется и Fe . ГОСТ 1380-54 рекомендует перманганатный метод со внесением поправки на мышьяк.

Олово. Анализ производят иодометрическим методом. ГОСТ 1380-54 рекомендует иодометрический метод с восстановлением олова металлическим свинцом.

Медь. Cu осаждают сернистым натрием и пересаждают электролитическим методом подобно определению в бронзе. ГОСТ 1380-54 рекомендует осаждение Cu и Pb электролизом.

Железо. Fe определяют колориметрическим методом с применением сульфосалициловой кислоты (по ГОСТ 1380-54).

Кадмий. ГОСТ 1380-54 рекомендует осаждать Cd электролитическим методом в слабосерноокислом растворе. Осаждение производят на омедненной сетке при силе тока 0,5 а.

Никель. ГОСТ 1380-54 рекомендует электролитический метод на омедненной платиновой сетке.

Кроме перечисленных компонентов, в баббитах по ГОСТ 1380-54 определяются As и Bi, а в баббите марки БТ — теллур.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Спектральный, точнее — спектрохимический анализ химического состава вещества отличается высокой чувствительностью, позволяющей: а) обнаруживать весьма малые примеси (0,00001%); б) проводить количественный анализ при наличии незначительных количеств анализируемого вещества (0,001 Г).

Точность метода обеспечивает постоянную относительную ошибку результатов, что дает ему преимущество перед химическим анализом при малых содер-

образуется линейчатый спектр, представляющий собой совокупность изображений входной щели, каждое из которых образовано лучами определенной длины (фиг. 1). Зафиксировав каким-либо образом спектры различных элементов, можно в дальнейшем путем сравнения расшифровывать спектры анализируемых проб, т. е. устанавливать в них наличие линий тех или иных элементов и тем самым решать задачу качественного анализа. Задача количественного анализа решается измерением интенсивности специально выбранных аналитических линий определяемого элемента.

Превращение пробы в пар и возбуждение его свечения осуществляются в боль-



Фиг. 1.

жания определяемого элемента и делает его равноценным с последним при средних содержаниях, но менее точным при больших содержаниях определяемого элемента.

Преимуществами метода являются, кроме того, скорость анализа и его дешевизна.

Сущность спектрохимического метода заключается в следующем. Анализируемое вещество, обыкновенно находящееся в твердом или жидком состоянии, превращается в пар. Полученный пар «возбуждается», т. е. составляющим его атомам сообщается дополнительная энергия. После этого атомы самопроизвольно возвращаются в «нормальное» состояние, излучая полученную при возбуждении энергию в виде света, состоящего из лучей с различной длиной волны. Излучение атомов каждого элемента состоит из набора подобных лучей с определенными, дискретными, характерными для данного атома значениями длин волн.

Интенсивность излучения определяется количеством излучающих атомов, т. е. в конечном счете концентрацией элемента в образце. Излучаемый свет направляется в спектральный аппарат через весьма узкую (сотые доли миллиметра) щель. Здесь происходит его разложение по составляющим длинам волн, и в результате на «выходе» прибора

в большинстве случаев электрической дугой или искрой, возникающей между двумя электродами, одним из которых является анализируемый образец, а другим — стержень или диск из какого-либо чистого материала (уголь, железо, медь и т. п.).

Для питания электрических дуг применяется постоянный или переменный ток (120/220 в, 5 а). В последнем случае для поддержания устойчивого горения дуги необходимо применение специальных генераторов дуги переменного тока.

Для питания искрового разряда применяются искровые генераторы напряжением 10 кВ, мощностью 0,5 кВА.

Для разложения света в спектр применяются спектральные приборы с призмами или дифракционными решетками. В зависимости от способа регистрации спектра они делятся на визуальные — стилоскопы, стилометры и фотографические — спектрографы. В визуальных приборах спектр рассматривается непосредственно в приборе глазом, через окуляр, и все оптические части делаются из стекла. Тем самым область используемых длин волн ограничивается видимой частью спектра (длины волн 4000—7000 Å). Спектрографы изготавливаются как со стеклянной, так и с кварцевой оптикой. В последнем случае использует-

ся ультрафиолетовая часть спектра (длины волн 2000—4500 Å).

Рассматривание спектра при фотографической регистрации происходит либо на самой фотопластинке при помощи лупы, либо на экране специального прибора — спектропроектора, на котором проектируется изображение пластинки.

Для расшифровки спектров применяются атласы спектров и таблица спектральных линий [2]; [3].

При фотографической регистрации спектра интенсивность линий определяется по почернению фотопластинки в месте их изображения. Почернение измеряется либо визуально с помощью ступенчатого ослабителя (метод фотометрического интерполирования), либо с помощью специального прибора — микрофотометра (метод объективного фотометрирования).

Методика проведения количественного анализа на стилоскопе заключается в глазомерном сравнении интенсивностей аналитических линий с неизменными интенсивностями ряда постоянно присутствующих в спектре линий (линии основного элемента сплава либо линии вещества второго электрода). Путем предварительных опытов с эталонными образцами устанавливается, при каких содержаниях определяемого элемента та или иная из его аналитических линий оказывается меньшей, равной или большей по интенсивности той или иной линии сравнения. Результаты этих опытов сводятся в таблицы аналитических признаков и публикуются по мере их составления в периодической печати.

В качестве примера приводится фотография участка спектра стали, содержащего аналитические линии ванадия (фиг. 2).



Фиг. 2. Участок спектра стали с линиями ванадия. Если линия ванадия 1 равна по интенсивности линии железа 2, то ванадия содержится 0,8%; если она равна линии железа 3, — ванадия 1,2%; если та же линия равна линии железа 4, — ванадия 2%.

Подобные таблицы составлены для определения Cr, W, Mn, V, Mo, Ni, Co, Ti, Al, Nb, Zr, Cu в сталях, Zn, Ni, Mn, Fe, Pb, Sn, Al, Be — в медных сплавах, Mg, Cu, Mn, Fe, Zn — в алюминиевых и ряде других сплавов.

Точность подобного полуколичественного анализа невелика, однако она

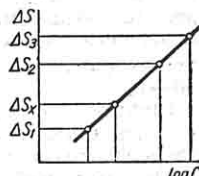
в большинстве случаев достаточна для определения марки стали. Продолжительность полного анализа образца в руках опытного лаборанта 1—2 мин.

Основное назначение стилоскопа — сортировка металла по маркам. При малых содержаниях некоторых элементов в сталях (Cu, V, Cr, Mn, Si) он применяется для проведения экспресс-анализов по ходу плавки. Имеется переносная модель прибора, пригодная для анализа крупногабаритных объектов на месте их нахождения [6].

Для проведения спектрального анализа на стилоскопе шкала его фотометра должна быть проградуирована в концентрациях каждого из определяемых элементов. Эта градуировка осуществляется путем промера эталонных образцов *каждым лаборантом индивидуально* (существенный недостаток прибора). Примерный градуировочный график изображен на фиг. 3. Средняя относительная



Фиг. 3. Градуировочный график стилоскопа.



Фиг. 4. Градуировочный график спектрографа.

погрешность анализа 5—6%. Продолжительность определения одного элемента 3—4 мин.

Основная область применения — контроль по ходу плавки.

Разработаны методики анализа Al, Si, Mn, W, Cu, Cr, Ti, Ni, V, Co, Mo в сталях, Mg, Fe, Mn, Si, Na, Cu, Cr в алюминиевых сплавах и др. [1].

При использовании спектрографа связь между почернением фотопластинки и концентрацией определяемого элемента устанавливается также экспериментально при помощи эталонов в виде градуировочной кривой. Если по осям графика откладывать с одной стороны разность почернений аналитической линии и линии сравнения (ΔS), а с другой — логарифм концентрации ($\log C$), то, как правило, градуировочный график является прямым (фиг. 4), что позволяет строить его при помощи всего двух эталонов. Практически с целью контроля прямолинейности графика и стабильности условий проведе-

ния анализа пользуются не менее чем тремя эталонами.

Эталоны должны быть по своему общему составу близки к анализируемым образцам. Углеродистые и большинство конструкционных сталей можно анализировать при помощи одного комплекта эталонов. Большинство марок быстрорежущих, жароупорных, нержавеющих сталей, бронз, латуней и алюминиевых сплавов требует отдельных наборов эталонов.

Средняя относительная погрешность спектрографического анализа составляет 2—5% (в зависимости от определяемого элемента).

Скорость определения одного элемента при правильной постановке аналитического процесса (разделение труда, организация рабочих мест) достигает при визуальном фотометрировании 10—12 мин. При работе с микрофотометром скорость снижается раза в полтора, но результаты измерений оказываются более объективными.

Каждый последующий элемент увеличивает продолжительность анализа на 10—15%.

Спектрографический метод применяется для анализа почти всех элементов, встречающихся в металлах.

Используется метод для маркировочного, экспрессного анализа и в исследовательских целях в самых различных отраслях производства [4]; [5]; [7].

ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ

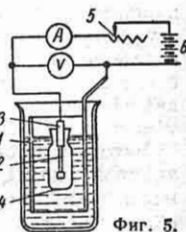
Электрохимический фазовый анализ

Свойства стали, в особенности легированной, зависят не только от общего химического состава стали, но и от количества и природы отдельных фаз, содержащихся в стали. Поэтому при изучении основных свойств стали пользуются фазовым анализом стали [4]; [7]. Одним из современных методов определения фазового состава сплавов является электрохимический фазовый анализ, обычно применяемый в сочетании с рентгеноструктурным анализом. Электрохимический фазовый анализ заключается в выделении карбидной и других избыточных фаз, входящих в состав стали (карбонитридов, нитридов и интерметаллических соединений), электролитическим способом и последующем химическом и рентгеноструктурном анализе выделенных фаз.

Электролитический метод выделения избыточных фаз основан на анодном избирательном растворении стали вследствие различий в величине электродных потенциалов основного металла и избыточных фаз.

При надлежащем выборе электролита и анодной плотности тока растворяется только металлическая основа, а исследуемая фаза (например, карбиды) сохраняется в виде тонкодисперсного осадка на поверхности образца стали — анода, который затем счищают и анализируют.

Схема установки для электролиза показана на фиг. 5. Электролитическая ванна представляет собой стеклянный стакан емкостью 1—1,5 л. Медный или железный катод 1 устанавливается по стенкам ванны, анодом служит исследуемый образец 2 в форме цилиндра длиной 50—60 мм, диаметром 15 мм с полированной поверхностью. Растворению подвергается боковая поверхность образца, а поэтому верхний и нижний концы его защищаются резиновой трубкой 3 или парафином. Образец подвешивается на медной проволоке, соединяющей его с положительным полюсом источника постоянного тока, помещается в коллодиевый мешочек 4 с электролитом и погружается в центр рабочей ванны.



Фиг. 5.

Сила тока регулируется реостатом 5 и контролируется амперметром. Выбор электролита и режима тока зависит от состава стали и физико-химических свойств карбидной фазы.

Выделение карбидной фазы в углеродистой и малолегированных сталях производят в нейтральном или слабощелочном электролите при плотности тока 0,01—0,03 а/см² с охлаждением электролита до 5° С и ниже. Продолжительность электролиза зависит от содержания углерода в стали, но она не превышает 8 час. Электролитом служит 1N раствор хлористого калия (75 г/л) с добавкой 5% лимонной кислоты, или 1N раствор хлористого калия, 0,02 N раствор соляной кислоты и 10% глицерина [4]; [5].

Для быстрорежущих сталей в качестве электролита применяют 5%-ный или 10%-ный раствор соляной кислоты.

Плотность тока 0,03—0,05 a/cm^2 . Электролиз ведут в течение 2—4 час.

Для высокохромистых и хромоникелевых высоколегированных аустенитных сталей в соответствии с их коррозионной стойкостью и характером содержащихся в них карбидов разработаны следующие электролитические режимы.

Первый режим. Электролит представляет собой насыщенный раствор хлористого калия (300 $г/л$) с добавкой 20 $мл$ соляной кислоты (уд. в. 1,19) на 1 $л$ раствора. Плотность тока составляет 1 a/cm^2 поверхности анода, продолжительность электролиза 5—10 мин. [6].

Второй режим. Электролитом служит соляная кислота (1 : 1) с добавкой 1% гипосульфита. Плотность тока 0,03 a/cm^2 . Продолжительность электролиза не выше 4 час.

Третий режим. В качестве электролита применяют 1*N* раствор хлористого калия, 0,02*N* раствор соляной кислоты и 1% гипосульфита. Плотность тока и продолжительность электролиза такие же, как при втором режиме.

Электролитический осадок, содержащий карбиды, промывают от электролита и сплавляют с бисульфатом калия или обрабатывают кислотами (серной и азотной или соляной и азотной) и таким образом растворяют карбиды.

Раствор переводят в медную колбу и из соответствующей части раствора определяют элементы, входящие в состав карбидов. Для определения карбидообразующих элементов применяют обычные химические и физико-химические методы, которыми пользуются при анализе стали [3]; [4]. Углерод в карбидах определяют из отдельного осадка. После электролиза углерод твердого раствора находится вместе с карбидами.

Для отделения свободного углерода от карбидов применяют флотационный и химический методы [4]; [5].

Флотационный метод сводится к разделению карбидов и свободного углерода по удельному весу в тяжелой жидкости с промежуточным удельным весом. Такой жидкостью является жидкость Туле с уд. в. 3,2 — водный раствор иодистого калия и двуокисистой ртути.

Химический метод применяют для отделения карбида железа (Fe_3C), который растворяется в соляной кислоте (уд. в. 1,14) с выделением летучих углеводородов, а свободный углерод остается в осадке.

Результаты химического анализа электролитического осадка рассчитывают на навеску стали, растворенной в процессе электролиза, или на вес карбидов, который представляет сумму определяемых элементов [4]; [5].

Электролитический осадок не служит точной характеристикой количества карбидов потому, что получаемые дисперсные карбиды адсорбируют при электролизе влагу и газы, которые невозможно полностью удалить высушиванием осадка.

В сложнолегированных сталях в зависимости от характера и содержания легирующих элементов образуются карбиды разного химического состава [1]. Поэтому возникает необходимость в раздельном, т. е. дифференцированном, химическом анализе карбидов.

Дифференцированное определение карбидов основано на различии их химических свойств. Кубический и тригональный карбиды хрома ($Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3), двойной железвольфрамовый карбид (Fe_3W_3C) и легированный цементит [$(FeCr)_3C$] растворяются при нагревании в соляной кислоте (1 : 1). Но карбиды хрома нерастворимы в соляной кислоте в присутствии перекиси водорода, которая их пассивирует. Для отделения карбидов хрома от двойного карбида и цементита карбидные осадки обрабатывают смесью растворов соляной кислоты и перекиси водорода.

Специальные карбиды титана, ванадия, молибдена, вольфрама, ниобия и тантала не растворяются в соляной кислоте в отсутствие окислителей. Указанные карбиды можно отделить от кубического карбида хрома кипячением осадка в соляной кислоте.

Электрохимический фазовый анализ применяется в металловедении: 1) при изучении влияния легирующих элементов и термической обработки на фазовый состав стали с целью установления правильного режима термообработки и рационального легирования стали; 2) при изучении фазовых изменений в стали, происходящих в процессе длительного старения при высоких температурах.

Газы в стали

При выплавке металла, а также при последующей его термической, химической и других видах обработки металл поглощает газы — кислород, азот и водород, которые по характеру своего дей-

Таблица 1

Содержание газов в различных продуктах сталелитейного производства [2]

| Металл | Содержание газов | | |
|---------------------------------------------|------------------|---------------|-----------------------------------------|
| | О в % | N в % | H ₂ в см ³ /100 г |
| Железо порошковое | 1,0—5,0 | 0,03—0,05 | 100—200 |
| Железо карбонильное | 0,45—0,50 | 0,015 | 20—30 |
| Железо армо | 0,09—0,15 | 0,0030—0,0050 | 1,0—3,0 |
| Сталь 3 бесемеровская | 0,0020—0,0035 | 0,015—0,020 | 2,0—3,0 |
| Сталь рельсовая бесемеровская | 0,0040—0,0050 | 0,0070—0,0080 | 1,0—1,5 |
| Сталь У7 | 0,0015—0,0020 | 0,0015—0,0020 | 0,7—1,0 |
| Сталь ШХ15 | 0,0020—0,0030 | 0,010—0,015 | 0,5—1,5 |
| Сталь 1Х18Н9Т | 0,0030—0,0040 | 0,0040—0,0050 | 5,0—7,0 |
| Сварочный шов, углеродистая сталь | 0,06—0,10 | 0,02—0,03 | 6—8 |
| Сварочный шов, нержавеющая сталь | 0,05—0,07 | 0,05—0,15 | 10—15 |
| Чугун литейный доменный | 0,015 | 0,0030 | 13,0 |

ствия на свойства металла должны рассматриваться наряду с другими легирующими элементами [4]. Газы могут находиться в металле в микропорах и газовых пузырьках, в виде неметаллических включений (окислов, нитриды) и в форме твердых растворов.

Влияние газов на свойства металла зависит от формы, в которой присутствует газ. Пузыри и поры, появляющиеся в результате выделения газов при затвердевании металла, часто служат причиной появления трещин при обработке его давлением; твердые включения типа закиси железа, расположенные по границам зерен, вызывают красноломкость, включения с высокой твердостью являются причиной хладоломкости. Газы, растворенные в твердом металле, также влияют на его механические свойства. Кислород влияет на растворимость углерода в аустените и феррите и в связи с этим изменяет структуру стали; он является одной из причин красноломкости стали. Азот действует на механические свойства подобно фосфору, но значительно сильнее. Наличием азота объясняют синеломкость или тепломомкость, старение, а также пузырчатость листового металла во время прокаливания. Водород увеличивает твердость и хрупкость стали. Важную роль приписывают водороду как причине образования флокенов и зоны столбчатых кристаллов в слитке.

В табл. 1 приводятся данные о содержании газов в различных продуктах сталелитейного производства.

Применяемые методы контроля содержания газов в металле позволяют определить как общее содержание того или иного газа, так и установить форму газового включения в стали, т. е.

определить те химические соединения, в виде которых данный газ содержится в металле.

Методы для определения кислорода. Водородный метод основан на восстановлении окислов, содержащихся в металле, газообразным водородом при 950—1200° С. Количество кислорода определяется по весу образовавшейся воды. Метод имеет ограниченное применение. Определению мешает углерод. Ряд окислов при этих условиях не восстанавливается [2].

Метод Гертн состоит в раскислении содержащихся в стали окислов металлическим алюминием и определении образовавшегося глинозема в остатке после растворения пробы стали в соляной кислоте. Метод не требует специального оборудования и рассчитан на определение кислорода по ходу плавки [2].

Методы для определения азота [2].

1. Метод отгонки состоит в растворении образца металла в кислотах (например, в серной). При этом химически связанный в стали азот переходит в аммонийную соль, количество аммиака в которой определяется путем перегонки раствора после обработки его щелочью, с последующим улавливанием аммиака в дистиллате титрованным раствором кислоты или определением его нодометрически или колориметрически. Этим методом не определяется механически включенный азот, а также азот, связанный с элементами, нитриды которых нерастворимы в кислотах (титан и др.).

2. Для определения азота в ферротитане и ферросилиции применяют метод нагретая в вакууме испытуемого металла с перекисью натрия при 400—500° С. При этом выделяется

Таблица 2

Поведение газометаллических соединений при различных температурах в вакууме [7]

| Температура экстракции в °С | Восстанавливаются кислородные соединения | Диссоциируют нитриды | Диссоциируют водородистые включения |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 1050 | FeO; MoO ₃ ; Cr ₂ O ₃ ; V ₂ O ₅ | W ₂ N ₂ ; Fe ₃ N; Fe ₄ N; CrN | Твердые растворы водорода в металле |
| 1150—1200 | MnO; B ₂ O ₃ | Mn ₃ N ₂ ; VN | Прочие металлические гидриды |
| 1300—1350 | SiO ₂ ; TiO ₂ | Si ₃ N ₄ | |
| 1550—1600 | ZrO ₂ ; Al ₂ O ₃ | AlN; BN; Mg ₃ N ₂ | |

азот с небольшой примесью других газов.

Методы определения водорода. Кислородный метод состоит в окислении металла газообразным кислородом при 800—1000° С. Водород, содержащийся в металле, образует при этом воду, пары которой поглощаются фосфорным ангидридом и определяются взвешиванием. Недостатки метода: малая точность, длительность и мешающее влияние некоторых элементов.

Метод в вакуумного нагрыва состоит в нагревании образца металла при 600—1000° С в высоком вакууме (от 10⁻⁴ до 10⁻⁵ мм рт. ст.). Количество водорода определяется по изменению давления в газоприемнике известного объема. Так как водород легко диффундирует сквозь металл, благодаря чему содержание водорода меняется при хранении пробы металла, то при хранении проб на водород должны быть приняты некоторые предосторожности: проба должна сохраняться в сосуде Дьюара в жидком азоте или в твердой углекислоте или в сосуде со ртутью или глицерином. В последнем случае выделяющийся над ртутью или глицерином газ должен быть измерен и количество его должно быть учтено при определении водорода в металле [3].

Универсальный метод горячей экстракции для общего и фракционного определения кислорода, азота и водорода в стали [5]; [6]. Одновременное определение кислорода, азота и водорода в стали методом горячей экстракции состоит в плавлении металла в графитовом тигле в высоком вакууме при температуре порядка 1600° С. При этих условиях происходит полное восстановление окислов углеродом тигля, а также диссоциация содержащихся в стали ни-

тридов и гидридов. Получающаяся при экстракции смесь газов, состоящая из окиси углерода, азота и водорода, откачивается из вакуумной печи системой вакуумных насосов и анализируется обычными методами газового химического анализа. Метод позволяет определить общее количество газов, в какой бы форме они ни содержались в металле.

Путем экстракции газов при разных температурах удается произвести разделение газометаллических соединений, т. е. установить, в форме каких соединений находятся кислород и азот в стали. Для этого руководствуются данными, приведенными в табл. 2 [6]; [7].

Для общего и фракционного определения газов в стали можно пользоваться аппаратом системы ЦНИИТМАШ. Существуют и другие отечественные конструкции аппаратов (НИИЧермет, ВИАМ, Институт металлургии АН СССР).

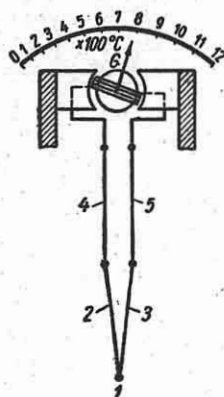
Термический анализ [1]; [2]; [3]

Термический метод применяется при определении температур фазовых превращений (критических точек). Термический анализ основан на явлении выделения (при охлаждении) или поглощения (при нагревании) скрытой теплоты фазовых превращений.

В металлах и сплавах могут иметь место следующие основные виды фазовых превращений: 1) переход чистого металла из твердого состояния в жидкое и обратно; 2) переход металла из одной аллотропической формы в другую; 3) кристаллизация избыточной фазы (чистого металла, твердого раствора или химического соединения) при распаде твердого раствора в процессе охлаждения в случае его пересыщенности при данной

температуре. Результаты анализа кривых нагревания и охлаждения металлов и сплавов, сведенные в диаграмму состояния, позволяют определить наличие, характер и температуру фазовых превращений.

Для измерения температуры применяются термопары, у которых при нагревании места спая 1 двух различных металлических проводников 2 и 3 (фиг. 6) на свободных концах появляется раз-



Фиг. 6.

ность потенциалов, пропорциональная разности температур спаянных и несаянных концов. Если холодные концы проводников замкнуть, соединив их с клеммами чувствительного милливольтметра (гальванометра) G , по цепи потечет электрический ток, величина которого регистрируется отклонением стрелки гальванометра, так как электродвижущая сила пропорциональна температуре горячего спая термопары; шкала гальванометра градуирована в милливольттах и в градусах Цельсия. Свободные концы электродов термопары 2 и 3 соединяются с гальванометром при помощи проводов 4 и 5. Такой прибор называется термоэлектрическим пирометром. В зависимости от характера выбранной пары металлов при помощи термоэлектрического пирометра могут быть измерены температуры до 1600°C (табл. 3).

Низкие температуры также могут измеряться с помощью термопар. Так, например, термопара из платины — платинородия может быть применена для измерения температур до -140°C , а термопара железо-константановая — до температуры -190°C .

Изменение электродвижущей силы в милливольттах в зависимости от температуры горячего спая применяемых на практике термопар показано на фиг. 7.

Предел температур, измеряемых термопарами, определяется устойчивостью против окисления металлов, из которых изготовлена данная термопара. Пра-

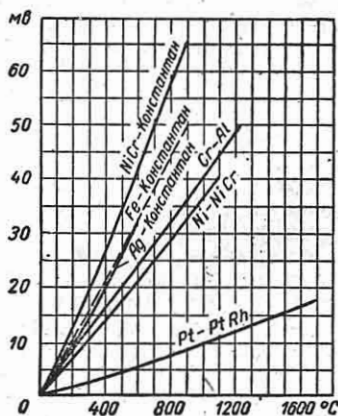
Таблица 3

Техническая характеристика термопар

| Термопара | Средняя электродвижущая сила в мВ в интервале нагрева на 100°C | Диаметр проволоки в мм | Предел измерения температуры в $^{\circ}\text{C}$ |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------|
| Медь — константан | 4,16 | 0,5—3,0 | 400 |
| Серебро — константан | 4,12 | 0,5—2,0 | 650 |
| Железо — константан | 5,2 | 0,5—1,0 | 700 |
| Никель — нихром | 3,7 | 2,0—4,0 | 900 |
| Хромель — алюминь | 4,1 | 2,0—3,0 | 1100 |
| Нихром — константан | 7,5 | 2,0—3,0 | 900 |
| Платина — платинородий | 0,64 | 0,5 | 1600 |

вильность показания термопар проверяется периодически градуировкой [3].

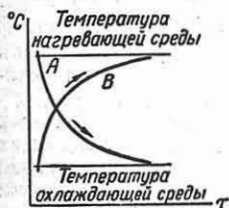
Построение кривых охлаждения производят в координатах: 1) температу-



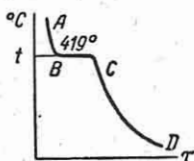
Фиг. 7.

ра — время $f(t, \tau) = 0$; 2) температура — скорость охлаждения $f\left(t, \frac{dt}{d\tau}\right) = 0$; 3) температура — величина, обратная скорости охлаждения $f\left(t, \frac{d\tau}{dt}\right) = 0$; 4) температура — разность температур образца и эталона, так называемая дифференциальная кривая $f[t, (t - t_1)] = 0$; 5) температура — производная разности температур образца и эталона по температуре $f\left[t, \frac{d(t - t_1)}{dt}\right] = 0$.

Если металл (сплав) не имеет превращений в заданном интервале температур, кривая нагревания *B* и охлаждения *A* данного вещества (в координатах температура — время) будет иметь вид, представленный на фиг. 8. Если сплав имеет фазовые превращения, на кривой охлаждения появится горизонтальный участок *BC* или перелом, свидетельствующий о выделении скрытой теплоты превращения (фиг. 9).

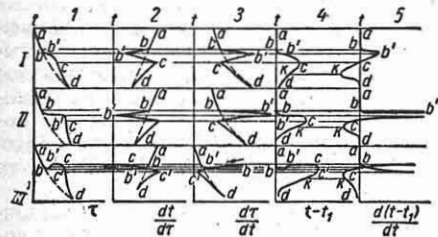


Фиг. 8.



Фиг. 9.

Для целей термического анализа пользуются главным образом кривыми охлаждения. На фиг. 10 показаны кривые охлаждения, записанные в различных координатах. На кривых *I* показан случай, когда превращение происходит в некотором интервале температур, на кривых *II* превращение происходит при постоянной температуре, на кривых *III* превращение сопровождается переохлаждением. Из всех пяти способов построения кривых охлаждения (фиг. 10) способ *I* дает наименее четкую картину



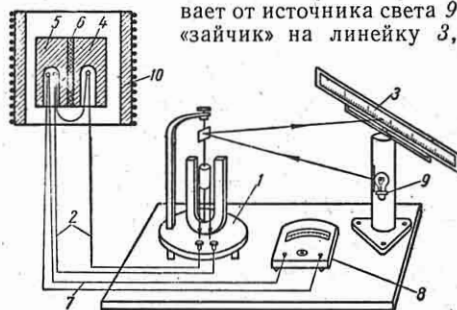
Фиг. 10.

превращения; способы 2 и 3 записывают превращения более отчетливо, но на кривых охлаждения отражается инерция печи и термопары, и поэтому превращения, протекающие с малым тепловым эффектом, в исследуемых сплавах могут остаться незамеченными; способы 4 и 5 наиболее точны. Этими способами критические точки определяются при помощи регистрации разницы температур эталона и образца; таким образом дифференциальные кривые лишены влия-

ния температуры внешней среды и инерции системы. Для большей точности показаний необходимо подбирать эталон с теплоемкостью, возможно близкой к теплоемкости образца.

При определении превращений в стали эталоном обыкновенно служит медь, при определении критических точек в алюминидных сплавах — чистый алюминий. Форма образца и эталона — полуцилиндры. Между эталоном и образцом помещают для теплоизоляции асбестовую прокладку и связывают их асбестовым шнуром.

Простая дифференциальная установка, которая может быть собрана в любой лаборатории, показана на фиг. 11. Зеркальный гальванометр *1* подключен к дифференциальной термопаре *2*. Зеркальный гальванометр *1* отбрасывает от источника света *9* «зайчик» на линейку *3*,



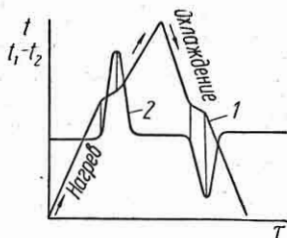
Фиг. 11.

которая градуирована в единицах длины (мм) с нулем посередине. Один спай дифференциальной термопары вставлен в отверстие в образце *5*, другой — в отверстие в эталоне *4*; образец и эталон разделены асбестовой прокладкой *6*; обычная термопара *7*, соединенная с гальванометром *8*, вставлена в образец *5*.

В начале эксперимента световой зайчик устанавливается на нуль. Отклонение зайчика на линейке вправо или влево от нуля наблюдается только при температуре фазовых превращений. Отклонение это пропорционально разности температур образца и эталона. По данным наблюдения строят две кривые: *1* — температура — время; *2* — разность температур — время (фиг. 12).

Автоматическая запись дифференциальной кривой осуществляется при помощи так называемых регистрирующих пирометров. Схема регистрирующего пирометра Н. С. Курнакова показана на фиг. 13.

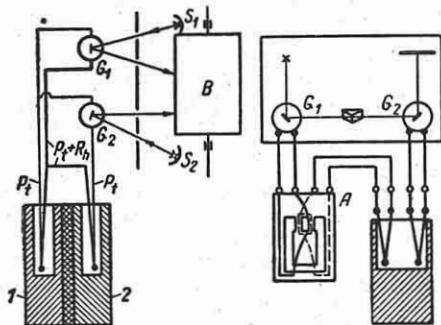
Гальванометр G_1 соединен с обычной термопарой, гальванометр G_2 — с дифференциальной термопарой; S_1 и S_2 — пучки света, падающие на зеркальце гальванометров. Барабан B приводится во вращение с определенной скоростью часовым механизмом. При нагреве образца 1 и эталона 2 отраженный от зеркальца гальванометра G_1 луч света



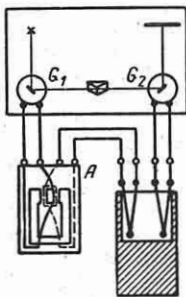
Фиг. 12.

падает на барабан и чертит на фотобумаге кривую температура — время. В момент превращения дифференциальная термопара показывает разность температур между эталоном и образцом, и гальванометр G_2 записывает на фотобумаге барабана кривую $(t - t_1)$ (см. фиг. 12, кривая 2, и фиг. 13). Барабан для записи помещен в специальную темную комнату или камеру.

Для автоматической записи кривой $f(t, \frac{dt}{dt}) = 0$ пользуются схемой, изображенной на фиг. 14. При этой схеме



Фиг. 13.



Фиг. 14.

отпадает необходимость в эталоне. В исследуемый образец вставляются две термопары. Одна из них подключается к гальванометру G_2 и показывает температуру при помощи горизонтального перемещения зайчика, другая включается в индукционный гальванометр A ,

рамка которого имеет две самостоятельные обмотки: одну, приключенную к термопаре, и вторую, присоединенную к зажимам гальванометра G_1 . При прохождении термотока через первую обмотку рамка гальванометра A приходит в движение, и во второй обмотке индуцируется ток, который вызывает отклонения зеркала гальванометра G_1 . Так как индуцированный ток второй катушки увеличивается с ускорением вращения рамки, то описанный способ оказывается удобным для определения превращений в сплавах во время ускоренного охлаждения.

Для регистрации в сплавах фазовых превращений при быстро протекающих процессах (например, во время закалки) требуются приборы с малой инерцией: струнный гальванометр или шлейфовый осциллограф.

Дилатометрический анализ

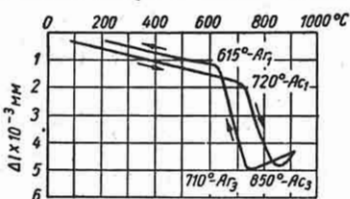
[1]; [2]; [3]

Дилатометрический метод определения критических точек применяется, когда тепловой эффект фазовых превращений при критической температуре относительно невелик. Дилатометрический метод широко применяется при определении критических точек стали.

Метод основан на изменении объема исследуемого сплава в момент фазовых превращений. Для повышения чувствительности метода применяется, так же как и в термическом анализе, дифференциальный способ, при котором учитывается не абсолютное, а относительное изменение (разность) длины испытуемого образца и эталона. Эталон изготавливается из особого сплава пиррос состава: 82% Ni; 7% Cr; 5% W; 3% Mn; 3% Fe.

Для дилатометрического анализа применяются зеркальные дилатометры с оптической записью системы «Оргаметалл» и дилатометры с механической записью. Зеркальный дилатометр дает достаточно точные результаты, но требует тщательной настройки и помещения, изолированного от вибрации и сотрясаний. Дилатометры с механической записью менее чувствительны к вибрациям и более пригодны для заводских лабораторий. Описание дилатометров см. [3]. Образец кривой, записанной на пластинке зеркального дилатометра, приведен на фиг. 15. Температурная шкала получается обычно на самой кривой в виде све-

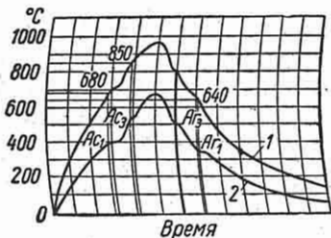
товых засечек, производимых через определенное число градусов. При применении дилатометра с механической за-



Фиг. 15.

писью получают кривые, изображенные на фиг. 16.

Кривая 1 записана рычагом, соединенным с эталоном, кривая 2 — рычагом, соединенным с испытуемым образцом. По кривой 1 определяется температура превращения, по кривой 2 — моменты превращений, характеризующиеся



Фиг. 16.

уступами на кривой. Ввиду того что при испытаниях на дилатометре с механической записью эталон находится внутри испытуемого образца, на кривой 1 частично отражаются также моменты фазовых превращений в образце в виде неясно выраженных уступов и площадок, что является дополнительным фактором для суждения о достоверности уступов на кривой 2.

По кривой нагрева, полученной на дифференциальном оптическом дилатометре (фиг. 15), можно определить методом расчета коэффициент линейного расширения α_t стали при каждой данной температуре по формуле

$$\alpha_t = \alpha_{эм} \pm \frac{K_1}{K_2} \cdot \frac{dy}{dx} (\alpha_{эм} - \alpha_{кв}),$$

где K_1 и K_2 — постоянные дилатометра системы «Оргаметалл», характеризующие увеличение прибора по координатным осям: $K_1 = 130$, $K_2 = 272$; $\frac{dy}{dx}$ — тан-

генс угла наклона касательной на ветви нагрева дилатометрической кривой (см. фиг. 15) при каждой данной температуре; $\alpha_{кв}$ — коэффициент линейного расширения кварца (трубочки и палочки прибора), равный $0,55 \cdot 10^{-6}$; $\alpha_{эм}$ — коэффициент линейного расширения эталона (сплава пирос), равный $n \cdot 10^{-6}$.

Значения величины n приведены в табл. 4.

Таблица 4

| t° в С | n | t° в С | n | t° в С | n |
|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|
| 0 | 12,57 | 350 | 15,99 | 700 | 18,85 |
| 50 | 13,19 | 400 | 16,41 | 750 | 19,25 |
| 100 | 13,73 | 450 | 16,82 | 800 | 19,65 |
| 150 | 14,22 | 500 | 17,23 | 850 | 20,05 |
| 200 | 14,69 | 550 | 17,64 | 900 | 20,44 |
| 250 | 15,13 | 600 | 18,04 | 950 | 20,84 |
| 300 | 15,56 | 650 | 18,44 | 1000 | 21,24 |

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ

Рентгеноструктурный анализ

При прохождении через кристаллы металла рентгеновские лучи претерпевают отражение от атомных плоскостей в направлениях, определяемых законом Вульфа — Брэгга:

$$2d \sin \theta = n\lambda, \quad (1)$$

где d — расстояние между параллельными атомными плоскостями в решетке (межплоскостное расстояние); θ — угол, под которым падает пучок рентгеновских лучей на отражающую атомную плоскость (брэгговский угол); λ — длина волны рентгеновских лучей; n — порядок отражения.

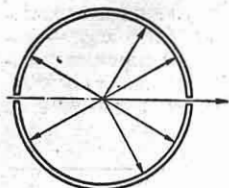
Межплоскостное расстояние в свою очередь связано простыми соотношениями с параметрами решетки (расстояниями между ближайшими атомами по трем осям координат) [1].

Таким образом, рентгеноструктурный анализ позволяет определять структуру металлов, т. е. координаты атомов (или ионов) в решетке.

Из различных методов рентгеноструктурного анализа наибольшее применение для исследования металлов и их сплавов нашли метод порошков и метод обратной съемки, поскольку металлы и сплавы представляют собой поликристаллы.

Метод порошков применяется для определения наиболее простых структур

и фазового состава мелкозернистых поликристаллических образцов или тонко размолотых порошков. Линейные размеры отдельных кристалликов не должны превышать 10^{-3} см.



Фиг. 17.

Исследуемый образец в виде столбика из спрессованного порошка или проволоки ($d = 0,2 \div 1$ мм) помещается в центре цилиндрической камеры (фиг. 17).

Отраженные от образца лучи образуют на пленке, изогнутой по цилиндрической поверхности, систему симметричных линий, как это показано на фиг. 18. Измеряя расстояние $2L$ между двумя симметричными линиями на рентгено-



Фиг. 18.

грамме, определяют брэгговские углы θ по формуле

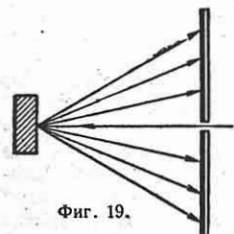
$$2L = \frac{\pi A}{45} \theta, \quad (2)$$

где A — радиус камеры.

Зная величину θ и интенсивность линий, можно определить форму и размеры элементарной ячейки исследуемого вещества.

Метод порошков нашел также широкое применение для определения структурных изменений при различных процессах, идентификации структур, в фазовом анализе осадков, электролитических выделенных из различных сталей (карбидный анализ) и т. д.

Метод обратной съемки. Пучок рентгеновских лучей (фиг. 19) падает перпендикулярно плоскости образца. Отраженные в обратном направлении лучи падают на плоскую пленку. Кассета с пленкой укреплена на щели, через которую проходит падающий пучок.



Фиг. 19.

На рентгенограмме фиксируются лишь те линии, для которых брэгговский угол отражения близок к 90° .

Измеряя расстояние $2L$ между симметричными линиями на рентгенограмме, определяют угол отражения по формуле

$$2L = 2A \operatorname{tg} (180^\circ - \theta), \quad (3)$$

где A — расстояние от образца до пленки.

Подставляя вычисленное таким путем значение θ в формулу (1), получают величину d , а следовательно, и величину параметра решетки. Данный метод применяется для точного измерения изменений параметров кристаллической решетки, что имеет существенное значение при определении внутренних напряжений и при исследовании твердых растворов.

Описанные выше методы рентгеноструктурного анализа применяются при решении следующих задач: определение фазового состава сплавов, границ растворимости в системах сограниченной растворимостью, измерение напряжений, определение линейных размеров кристаллитов, исследование текстур. С помощью рентгеноструктурного анализа могут быть зафиксированы все превращения в твердом состоянии, связанные с изменением кристаллической структуры.

О п р е д е л е н и е ф а з о в о г о с о с т а в а. Каждая фаза дает на рентгенограмме систему линий, характеризующую ее структуру. При наличии смеси имеет место наложение независимых друг от друга систем линий, каждая из которых характеризует одну из составляющих смеси. Определив по рентгенограмме значения углов, соответствующих каждой линии, можно рассчитать величину межплоскостных расстояний по формуле (1).

Полученные экспериментально значения межплоскостных расстояний сравнивают с теоретическими значениями межплоскостных расстояний, соответствующих каждой из составляющих фаз. Таким образом определяют, какие линии на рентгенограмме отвечают той или иной фазе. Этот способ применяется для идентификации примесей, при анализе состава осадков, электролитически выделенных из сталей и т. п. В некоторых случаях из соотношения интенсивностей линий отдельных составляющих можно сделать заключение о количественном составе смесей [3].

О п р е д е л е н и е р а с т в о р и м о с т и в с л у ч а е о б р а з о в а н и я т в е р д ы х р а с т в о р о в. Установление границ растворимости элементов в сплавах рентгеноструктурным методом

основано на измерении параметра кристаллической решетки. Величина параметра изменяется с увеличением концентрации примеси, увеличиваясь или уменьшаясь в зависимости от соотношения атомных радиусов растворенного вещества и растворителя. При переходе через границу растворимости величина параметра кристаллической решетки не изменяется. Для определения растворимости при данной температуре и изменения растворимости в зависимости от изменения температуры составляют ряд искусственных смесей различной концентрации двух компонентов и измеряют параметр решетки всех смесей при различных температурах [3].

Определение напряжений с помощью рентгеновских лучей. Рентгеноструктурный метод определения напряжений основан на изучении изменения межплоскостных расстояний, которое имеет место в результате деформации решетки.

Напряжения первого рода проявляются в смещении линий на рентгенограммах без изменения ширины или уменьшения интенсивности. Наибольшее смещение линий при данной величине деформации наблюдается для тех линий рентгенограмм, которые соответствуют брэгговским углам, большим 45° .

Напряжения второго рода вызывают размытие линий на рентгенограммах.

Для определения напряжений первого и второго рода применяют метод обратной съемки образца в напряженном и ненапряженном состоянии [2]; [5].

Определение линейных размеров кристаллитов основано на применении известного соотношения между шириной линий на рентгенограммах и величиной кристаллитов, если линейные размеры последних не превышают 10^{-6} см:

$$\eta = 0,088 \left[B \cos \theta - \frac{1}{B} \left(\frac{\pi r}{R} \right)^2 \cos^3 \theta \right]. \quad (4)$$

где θ — брэгговский угол отражения; B — угловая ширина линий; r — радиус образца; R — радиус камеры; η — величина, обратная линейным размерам кристаллитов.

Ширина линий на рентгенограммах определяется микрофотометрированием [4].

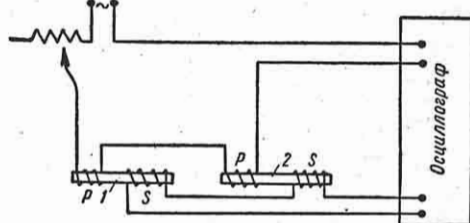
Определение преимущественной ориентации кристаллитов. Наличие преимущественной ориентации кристаллитов, воз-

никающей при волочении, прокатке металла, направленной кристаллизации при литье, электроосаждении металлов, сказывается при рентгенографировании в неравномерном почернении линий на рентгенограммах; отдельные участки линий сильно затемнены, другие совсем не затемнены.

Расшифровка текстурдиаграмм (рентгенограмм, снятых с образцов с преимущественной ориентацией кристаллитов) позволяет определить кристаллографическое направление текстуры [1]; [3].

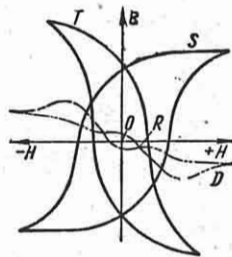
Магнитный структурный анализ

Магнитные методы и приборы структурного анализа. Структурный анализатор с осциллографом. Структурный анализатор — электромагнитный прибор, позволяющий сортировать стальные изделия по магнитным свойствам сравнением испытуе-



Фиг. 20. Схема электрических соединений структурного анализатора с осциллографом: 1 — испытываемый образец; 2 — эталонный образец.

мого изделия с эталонным. Схема электрических соединений прибора показана на фиг. 20. Испытуемый образец и эталон подвергаются действию равного переменного магнитного поля, возбуждаемого переменным током, пропускаемым через две первичные обмотки, соединенные последовательно. Две вторичные обмотки соединены дифференциально навстречу одна другой так, что результирующая э. д. с. индукции является разностью э. д. с. индукции образца и эталона. Принцип, положенный в основу работы анализатора, состоит в следующем. Если эталонный образец имеет петлю гистерезиса S , и испыты-



Фиг. 21.

вает петлю гистерезиса S , и испыты-

мый образец петлю T (фиг. 21), то результирующая петля, полученная сложением значений индукции B для соответствующих значений H с учетом принятого знака, представляется кривой D . Изменение этой кривой легко обнаруживается, если петля эталонного образца остается постоянной. Проверка качества изделий производится на катодном осциллографе по изменению соответствующего параметра результирующей петли, например контроль твердости по изменению промежуток между пересечением R дифференциальной петли и началом координат O .

Структурный анализатор с гальванометром, получивший большое распространение, также



Фиг. 22. Схема электрических соединений структурного анализатора с гальванометром: 1 — испытуемый образец; 2 — эталонный образец.

основан на принципе измерения разности э. д. с. индукции испытуемого и эталонного образцов. Оценка магнитных свойств дается на основе результатов измерения мощности индукционного тока в дифференциально соединенных обмотках гальванометром тепловое действие или же по показаниям магнито-электрического гальванометра с выпрямителем в его цепи. Схема электрических соединений структурного анализатора с гальванометром показана на фиг. 22.

Аустенитометр. Метод испытания основан на том, что аустенит парамагнитен, а продукты его превращения ферромагнитны. В сильных магнитных полях напряженностью ~ 8000 э ферромагнитная фаза оказывается намагниченной до насыщения J_s независимо от легирования. Поэтому можно считать, что интенсивность намагниченности всей массы образца $J_{обр}$ пропорциональна J_s :

$$J_{обр} = pJ_s,$$

где p отражает концентрацию ферромагнитной фазы.

Для определения количества остаточного аустенита в стали достаточно

измерить баллистическим методом J_x испытуемого образца и J_0 отожженного образца того же состава, если принять, что после отжига образца вся его масса становится ферромагнитной. Количество остаточного аустенита определится по формуле

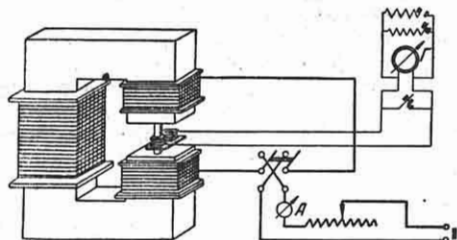
$$x = \frac{J_0 - J_x}{J_0} 100\%.$$

При испытаниях образцов из закаленной стали количество остаточного аустенита можно определить и по отклонению стрелочного гальванометра, работающего в баллистическом режиме, что достигается утяжелением подвижной системы гальванометра свинцовыми грузами. В этом случае формула принимает вид:

$$x = \frac{\alpha_{ом} - \alpha_{зак}}{\alpha_{ом} - \beta} 100\%.$$

где $\alpha_{ом}$ и $\alpha_{зак}$ — углы отклонения гальванометра соответственно для отожженного и закаленного образцов; β — поправка на поток обмотки без образца.

Необходимые для определения количества аустенита опытные данные получаются при помощи электромагнита, электрическая цепь которого и автокоммутатор позволяют быстро увеличивать или уменьшать ток определенными степенями в том или другом направлении (фиг. 23). Вторичные индукционные обмотки с испытуемым и отожженным



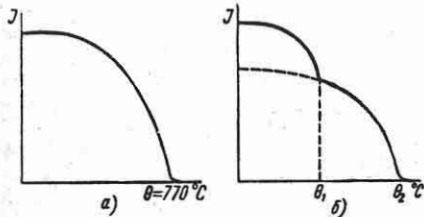
Фиг. 23. Схема электрических соединений аустенитометра (ЦНИИТМАШ).

образцами соединяются дифференциально и устанавливаются в кассете между полюсами электромагнита. Для получения абсолютных измерений остаточного аустенита необходимо градуировать прибор баллистическим методом.

Термомагнитный анализ. При повышении температуры намагниченность ускоренно падает и материал теряет свой ферромагнетизм в точке Кюри, когда же температура понижается, материал приходит в исходное состояние, следуя по

пройденному пути. Обратимость этого явления есть признак магнитного превращения, которое в интервале температур между комнатной и точкой Кюри не сопровождается изменениями в кристаллической решетке.

Терромагнитный метод состоит в исследовании зависимости магнитной восприимчивости от изменения температуры. Температурная зависимость намагниченности железа показана на фиг. 24, а.



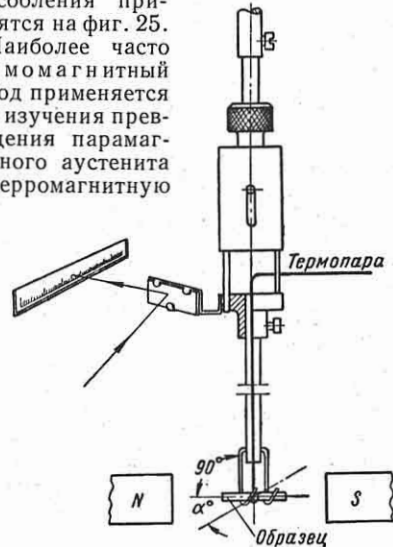
Фиг. 24. Кривые температурной зависимости намагниченности: а — для одной и б — для двух ферромагнитных фаз.

Точка Кюри железа равна 770°C . При наличии в структуре стали двух ферромагнитных фаз кривая $J - \theta$ принимает форму кривой, изображенной на фиг. 24, б. Пунктирная кривая показывает результат, который мог бы быть получен, если бы вторая фаза отсутствовала. Если эти кривые продолжить до абсолютного нуля (-273°C), то по отношению этих интенсивностей намагниченности к полной можно определить и относительные количества фаз. Терромагнитные исследования могут проводиться по двум методам. Один из них заключается в определении кривых намагниченности при различных температурах. Этот метод трудоемок и имеет тот недостаток, что состояние структуры образца может подвергаться изменениям во время длительных выдержек при повышенных температурах. Другой метод состоит в определении зависимости намагниченности от изменения температуры в присутствии намагничивающего поля. Этот метод используется в большинстве исследований.

Магнитный анизометр применяется для изучения кинетики фазовых превращений. Действие анизометра основано на влиянии постоянного магнитного поля на испытуемый цилиндрический образец (3×30 мм), подвешенный на упругих стальных пружинах под небольшим начальным углом α ($\sim 10^{\circ}$) к направлению поля. Со стороны магнитного поля на образец

действует вращающий момент, стремящийся повернуть образец вдоль направления магнитного поля. Величина вращающего момента зависит от количества ферромагнитной фазы в образце. Об его изменении в ходе процесса распада твердого раствора можно судить по изменению угла поворота образца как функции магнитной восприимчивости. Образец нагревается в электрической печи, помещенной между полюсами электромагнита. Схема анизометра и связанные с ним дополнительные приспособления приводятся на фиг. 25.

Наиболее часто терромагнитный метод применяется для изучения превращения парамагнитного аустенита в ферромагнитную



Фиг. 25. Схема анизометра Акулова.

ферритно-карбидную смесь или ферромагнитный мартенсит.

Магнитный анализ неферромагнитных материалов. По пара- и диамагнитным свойствам определяют изменения фазового состояния аустенитных сталей и сплавов при высоких температурах.

Парамагнитная восприимчивость определяется по силе, с которой тело вытягивается в неоднородное магнитное поле. Такое поле можно получить, если изготовить электромагнит со скошенными полюсами. Тело с магнитным моментом M , помещенное в поле в вакууме, неоднородность которого в электромагните измеряется величиной градиента $\frac{dH}{dx}$, затягивается силой

$$F = M \frac{\partial H}{\partial x}$$

Так как $l \text{ см}^3$ тела с магнитной восприимчивостью χ в поле H приобретает момент χH , то уравнение для малого объема dv принимает вид

$$dF = \chi H \frac{\partial H}{\partial x} dv.$$

Если же заменить dv на $q \cdot dx$, где q — площадь сечения цилиндрического образца, то для величины силы, действующей в вакууме в направлении X , перпендикулярном к направлению осей полюсов Y , получим

$$F = \frac{1}{2} q \chi (H_1^2 - H_2^2).$$

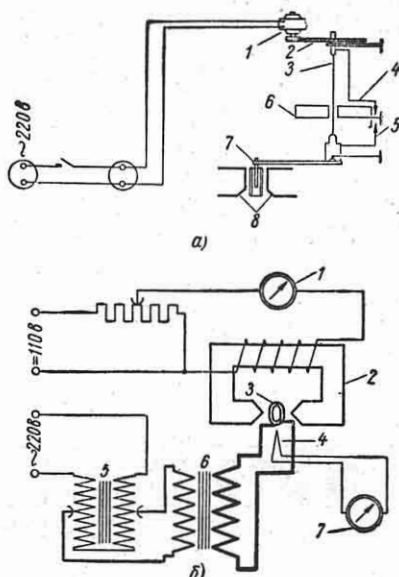
Здесь H_1 и H_2 — значения H_y в точках x_1 и x_2 [5].

На практике в парамагнитном материале могут содержаться и ферромагнитные примеси в виде загрязнений. В этом случае вводят поправку исходя из того, что восприимчивость ферромагнитных веществ в области насыщения с увеличением напряженности поля уменьшается. Определив ряд значений восприимчивости при комнатной температуре в различных полях, наносят их на диаграмму в зависимости от $\frac{1}{H}$.

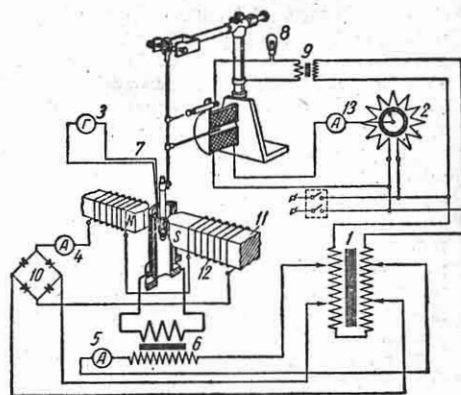
Получающаяся при этом прямая линия продолжают до пересечения с осью x . Полученный таким образом отрезок оси ординат представляет действительную магнитную восприимчивость для парамагнитного материала, свободного от загрязнения.

На фиг. 26, *a* показана схема установки (по Сиголаеву) для измерения парамагнитной восприимчивости сталей по углу закручивания нити, а на фиг. 26, *б* — ее электрическая схема. Изменение парамагнитных свойств испытуемого образца в зависимости от структурных и магнитных изменений при его нагревании оценивается в относительных единицах по углу закручивания нити. Угол закручивания является мерой упругой силы, удерживающей образец в междуполюсном зазоре, и определяется положением стрелки на лимбе, связанной со стальной нитью. Нагревание образца производится в специальной печи электрического сопротивления. Схема установки (по Энтину) (на фиг. 27) основана на принципе измерения силы вырывания испытуемого образца из неоднородного магнитного поля, пропорциональной магнитной восприимчи-

вости. Вырывание образца, находящегося в кварцевой трубке, соединенной с качающимся подвесом, осуществляется



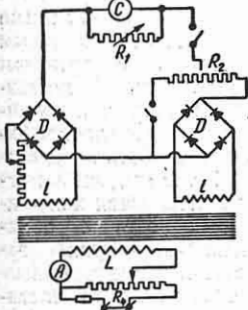
Фиг. 26. *a* — кинематическая схема установки: 1 — электродвигатель; 2 — зубчатая передача; 3 — стальная нить; 4 и 5 — стрелки; 6 — лимб; 7 — подвеска к образцу; 8 — полюсные наконечники электромагнита; 6 — схема электрических соединений установки: 1 — амперметр; 2 — электромагнит; 3 — печь; 4 — термомпара; 5 — вариатор; 6 — трансформатор; 7 — гальванометр.



Фиг. 27. Схема электрических соединений установки для определения температурной зависимости магнитной восприимчивости: 1 — автотрансформатор; 2 — индуктивное сопротивление; 3 — гальванометр; 4, 5 и 13 — амперметры; 6 — трансформатор тока; 7 — термомпара; 8 — лампочка для сигнализации о наличии контакта; 9 — трансформатор; 10 — выпрямитель; 11 — магнитопровод электромагнита; 12 — обмотка электромагнита.

полем соленоида посредством затягивания ферромагнитного стерженька, связанного одним концом с подвесом. Сила вырывания измеряется величиной силы тока соленоида, необходимой для того, чтобы вывести образец из области максимальной напряженности поля. Эта установка, так же как и первая, позволяет установить температуру зависимости магнитной восприимчивости. Нагревание образца производится и в этом случае с помощью небольшой электрической печи, состоящей из двух сваренных с одного конца коаксиальных трубок из жаростойкой стали.

Индукционные методы. Электромагнитный зонд применяется для сортировки изделий по структуре и для измерения

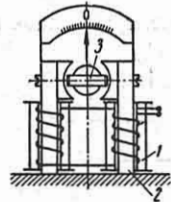


Фиг. 28. Схема электрических соединений электромагнитного зонда (по Еремину).

толщины покрытий, но и к колебаниям в толщине тонкого слоя основного металла, а также и к структурным изменениям. Влияние этих осложняющих измерение факторов может быть учтено особыми приемами в измерении [1].

Коэрцитиметр — электромагнитный прибор для контроля микроструктуры по коэрцитивной силе (фиг. 29). Прибор состоит из электромагнита 1 с П-образным сердечником 2, вращающейся в зазоре магнитопровода рамки 3 и связанной с ней стрелки. Для обеспечения наилучшей плотности магнитного контакта к коэрцитиметру прилагается набор полюсных наконечников различной формы.

Поэтому всегда имеется возможность установить коэрцитиметр на изделие так, что магнитная цепь электромагнита оказывается замкнутой контролируемым участком изделия. Участок, намагниченный в начале магнитным полем



Фиг. 29. Коэрцитиметр (по Михееву).

в одном направлении, размагничивается затем полем обратного направления. Установлено, что величина тока электромагнита, соответствующая исчезновению намагниченности определяемого по положению стрелки рамки, пропорциональна коэрцитивной силе испытуемого участка изделия. В тех случаях, когда механическая твердость изменяется параллельно изменению коэрцитивной силы, этот прибор можно применить и для сортировки изделий по твердости.

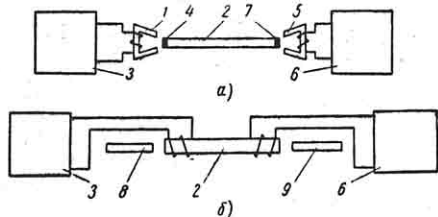
Методы измерения механических свойств. Ферромагнетизм может быть использован также и для измерения механических свойств структуры сталей, не связанных с ферромагнетизмом. В таких случаях исследование проводится методом измерения внутреннего трения, т. е. способности вибрирующего твердого тела превращать свою механическую энергию колебаний в тепло. Наиболее простым проявлением внутреннего трения является затухание или потеря амплитуды свободно колеблющегося тела, характеризующая внутреннюю структуру и смещение атомов в металле при его деформации. Источником затухания могут быть термическая пластичность, ферромагнитные эффекты и внутренние напряжения, связанные с пластической деформацией.

Внутреннее трение исследуется путем определения резонансной кривой в вынужденных колебаниях или путем определения затухания свободных колебаний по логарифмическому декременту (или по декременту), представляющему собой натуральный логарифм

отношения амплитуд двух следующих одного за другим отклонений.

Наиболее распространенными методами для измерения внутреннего трения являются магнитный метод и метод вихревых токов.

Магнитный метод (фиг. 30, а) требует добавочного устройства в виде полюсных наконечников — дисков из ферромагнитного материала, присоединяемых к концам образца 2. Обмотки электромагнита 1, размещенного вблизи



Фиг. 30. Схемы для измерения внутреннего трения в металле.

одного из дисков 4, присоединяются к генератору 3, и результирующее переменное магнитное поле взаимодействует с этим полюсным диском так, что образец 2 отклоняется то в одну, то в другую сторону.

В обмотке второго электромагнита 5 (присоединенной к приемнику 6), размещенного полюсами вблизи другого диска 7, наводятся при этом э. д. с. индукции, которая затем усиливается и выпрямляется. За счет изменений в расположении дисков и полюсных наконечников удается возбудить различные колебания: продольные, изгибающие и даже крутильные. Если оба диска крепятся с образцом не непосредственно, а через опорные проволоки, метод оказывается пригодным для измерений при высоких температурах, так как опорные проволоки могут быть вынесены из печи и все электрическое оборудование может находиться при комнатной температуре.

Метод вихревых токов (фиг. 30, б) ограничивается продольными колебаниями металла, обладающего хорошей электрической проводимостью. Колебания достигаются тем, что один конец образца, находящегося в катушке с высокочастотным током от генератора 3, помещается в поле постоянного магнита 8. Переменное магнитное поле катушки наводит в образце вихревые токи, поле которых, накладываясь

на основное постоянное магнитное поле, приводит образец в состояние вибрации. Если надеть на другой конец образца подходящую по электрическим параметрам катушку, присоединенную к приемнику 6, и разместить его в постоянном поле магнита 9, то при перемещении образца в этом поле в нем будут наводиться вихревые токи. Эти токи в свою очередь будут наводить в катушке э. д. с. индукции, которая может быть потом усилена. Так как электромеханическое соединение в изложенном методе слабое, то и амплитуда колебания оказывается очень малой. Поэтому метод вихревых токов пригоден для изучения только слабого внутреннего трения, когда не требуется большая мощность.

Магнитная металлография. Техника выявления микроструктуры магнитным методом заключается в следующем. Одна-две капли коллоидальной суспензии магнетита наносятся на полированную поверхность образца (металлографического шлифа) и покрываются затем покровным стеклом. Коллоидальные магнитные частички притягиваются к структурным составляющим, которые обладают ферромагнетизмом, другие же немагнитные составляющие оказываются чистыми, свободными от частичек магнетита. Таким образом, открывается возможность наблюдать под микроскопом распределение ферромагнитных составляющих в двух- и трехфазных системах по узору частичек [4]. Магнитные узоры получаются при этом без какого-либо предварительного намагничивания, и чувствительность метода возрастает настолько, что удается обнаружить структуру, требующую для рассмотрения увеличений в 1000—1500 раз.

Магнитная коллоидальная суспензия может быть приготовлена следующим образом. Растворяют 2 г $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ и 5,4 г $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (или эквивалентные количества сульфатов) в 300 см^3 горячей воды и добавляют при постоянном помешивании 5 г NaOH , растворенного в 50 см^3 воды. Раствор кипятят до выпадения магнетита, который потом отфильтровывают и промывают на фильтре несколько раз водой и окончательно один раз раствором 0,01 N HCl . Осадок магнетита переносят в мыльный раствор концентрации 0,5% в количестве 1 л и кипятят в течение короткого времени. Образующаяся таким образом суспензия становится вполне коллоидальной.

Радиотехнический метод испытаний

Радиотехнический метод заключается в возбуждении при помощи генератора высокой частоты радиотехнического типа собственных продольных, поперечных или крутильных колебаний образца и измерении амплитуды этих колебаний радиотехническими способами (электродинамический или конденсаторный микрофон, электромагнитный или пьезоэлектрический адаптер с соответствующими усилителями, индикаторами и т. д.).

Радиотехнический метод дает возможность: а) испытывать образцы простейшей формы (например, цилиндрической, длиной, значительно большей диаметра), колебания которых особенно просты; б) производить испытания без ошибок за счет инерции испытательной машины, заделки концов и т. д.; в) уменьшить время испытания, так как для радиотехнического метода не представляет затруднений доводить число циклов испытания до нескольких сотен и даже тысяч в секунду; г) производить испытания металлов при высоких температурах, не изменяя методики, когда статические испытания затруднены растущими ползучестью и петлей гистерезиса; д) производить испытания при малых деформациях образцов; е) изучать явление внутреннего трения в твердых телах, если под ним подразумевать величину, характеризующую сумму всех тепловых потерь внутри образца при деформации; ж) изучать процессы усталости образца до достижения им предела выносливости.

Определение модуля нормальной упругости, модуля сдвига, коэффициента поперечного сжатия и зависимости их значений от температуры. Модуль нормальной упругости и модуль сдвига определяются путем нахождения собственных частот продольных, поперечных и крутильных колебаний образца, подвешенного или зажатого в точках, соответствующих узловым точкам собственных колебаний.

Образец возбуждается радиотехническим генератором высокой частоты (от десятков до нескольких тысяч герц), создающим с помощью специального электромагнитного устройства переменное магнитное поле. Амплитуда колебаний достигает максимума при совпадении частоты генератора с собственной

частотой колебаний образца, что отмечается индикатором. Генератор поддерживает постоянную амплитуду колебаний образца, которую можно отсчитывать при самых ничтожных деформациях. Поэтому колебания образца можно считать строго синусоидальными и прилагать к ним основное уравнение незатухающих колебаний. Для цилиндрических образцов оно приводит к следующим выражениям, связывающим собственную частоту образца, его упругие свойства и геометрические размеры:

$$N_{np} = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{Eg}{\rho}};$$

$$N_{кр} = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{Gg}{\rho}};$$

$$N_{nn} = \frac{\pi d}{32L^2} \sqrt{\frac{Eg}{\rho}};$$

$$\mu = \frac{E - 2G}{2G}$$

или

$$\mu = \frac{N_{np}^2 - 2N_{кр}^2}{2N_{кр}^2}.$$

где N_{np} , $N_{кр}$ и N_{nn} — частота соответственно продольных, крутильных и поперечных колебаний; E — модуль нормальной упругости; G — модуль сдвига; g — ускорение силы тяжести; ρ — плотность материала образца; L — длина образца; d — диаметр образца; μ — коэффициент поперечного сжатия (коэффициент Пуассона).

Современные радиотехнические методы позволяют поддерживать и отсчитывать частоту с очень большой точностью (до сотых и тысячных долей процента). Следовательно, точность определения упругих постоянных металла ограничивается ошибками измерения геометрических размеров и плотности образцов. Как известно, эти ошибки сравнительно простыми средствами могут быть сведены до очень небольших величин. Поэтому точность определения упругих постоянных металлов радиотехническими методами превосходит точности, которые дают другие методы.

Для определения температурной зависимости E , G и μ образец помещается в печь, причем возбуждающее колебание и регистрирующее устройство помещаются вне печи.

При вычислениях в этом случае необходимо в формулы, связывающие собственные частоты колебаний образцов с их упругими постоянными, вводить поправки: а) на изменение длины образца $L_t = L_0 (1 + \alpha t)$; б) на изменение

плотности образца $\rho_t = \frac{\rho_0}{(1 + \alpha t)^3}$, где L_t и ρ_t — соответственно длина образца и плотность металла при температуре t ; L_0 и ρ_0 — те же величины при комнатной температуре; α — коэффициент линейного расширения.

Вводя в формулы для определения E и G поправки на температуру, имеем:

$$E_t = \frac{4L_0^2 \rho_0}{(1 + \alpha t)^2} N_{np,t}^2;$$

$$G_t = \frac{4L_0^2 \rho_0}{(1 + \alpha t)^2} N_{kp,t}^2;$$

$$\mu_t = \frac{N_{np,t}^2 - 2N_{kp,t}^2}{2N_{kp,t}^2},$$

где E_t , G_t , $N_{np,t}$, $N_{kp,t}$ и μ_t соответствуют обозначенным выше величинам, полученным при температуре t .

Исследование стали различных марок показало, что закономерность изменения их модуля нормальной упругости и модуля сдвига одна и та же. Оба модуля с повышением температуры плавно уменьшаются (при изменении температуры от 20 до 600° С сохраняется около

78% модуля нормальной упругости и 75% модуля сдвига); коэффициент Пуассона медленно повышается с повышением температуры.

Экспериментальный график изменения E_t и G_t с изменением температуры для стали приведен на фиг. 31. По оси абсцисс отложены температуры от 0 до 600° С, по оси ординат — изменение E_t и G_t в процентах [1]; [2].

Определение структуры по электрическому сопротивлению и теплопроводности

Электрическое сопротивление. Электрические свойства металлов определяются их электросопротивлением, за-

висящим от формы, размера материала и главным образом от электрической природы вещества.

Зависимость электросопротивления от температуры выражается формулой

$$\rho_t = \rho (1 + \alpha t),$$

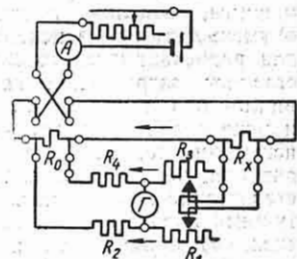
где ρ , ρ_t — сопротивление при 0° С и при температуре t °С; α — коэффициент линейного расширения; t — температура нагрева.

Удельное электросопротивление возрастает с повышением температуры. Оно вызывается искажением решетки, возникающим вследствие тепловых колебаний атомов при нагреве.

Методом электросопротивления пользуются для решения ряда металлургических вопросов, в частности для определения структурных изменений в металле, растворимости одного элемента



Фиг. 32.



Фиг. 33.

в другом, дисперсионного твердения, выяснения природы твердых растворов. Электросопротивление обычно определяют с помощью потенциометра и так называемого электрического моста.

Приборы по схеме моста Уитстона (фиг. 32) применяются для измерения сопротивлений нулевым методом. Электросопротивление подсчитывается по формуле

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_3.$$

На мостике Уитстона измеряются сопротивления от 10 до 100 000 ом.

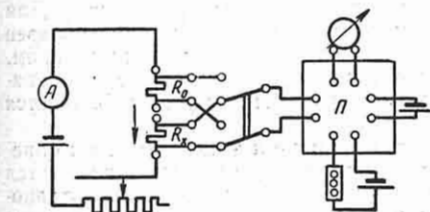
Для измерения сопротивления меньше 10 ом применяются приборы, работающие по схеме двойного моста Томсона (фиг. 33).

Измеряемое сопротивление R_x соединяется последовательно с образцовой катушкой R_0 и по ним пропускается по возможности большой ток.

Так как в данной схеме $R_2 = R_4$ и $R_1 = R_3$, расчетная формула приобретает вид

$$R_x = R_0 \frac{R_1}{R_2}.$$

Точность метода $\sim 0,2\%$. Более точно ($0,002\%$) измеряется сопротивление с помощью потенциометра (фиг. 34).



Фиг. 34.

Потенциометром поочередно измеряются падения напряжений на R_x и R_0 . Расчет ведется по формуле

$$R_x = R_0 \frac{N_x}{N_0},$$

где $N_x = IR_x$; $N_0 = IR_0$, измеряемые потенциометром.

Этим методом измеряются сопротивления от 0,001 до 100 000 ом.

Величина сопротивления R в ом проводника длиной l в м с поперечным сечением S в мм² может быть рассчитана по формуле

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

где ρ — удельное сопротивление в ом·мм²/мм определяется физической природой материала и не зависит от формы и размеров материала.

Для измерения изменяющегося электросопротивления (в процессе отпуска сталей, изотермического распада аустенита) применяется метод амперметра-вольтметра. В описанных выше методах измерение электросопротивления производится при комнатной температуре. Для поддержания постоянной температуры образцы помещают в масляный термостат.

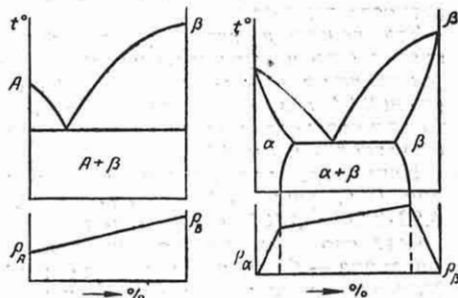
Измерение электросопротивления при высоких температурах производится на специальных установках (метод Сольдау и др. [4]).

Электрические свойства сплавов: Для бинарных сплавов существуют следующие общие закономерности:

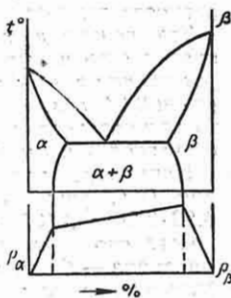
1) электросопротивление сплава, лежащего в гетерогенной области, находится по прямой линии ρ_{AB} , соединяющей значения электросопротивлений отдельных компонентов (фиг. 35);

2) в непрерывном ряду твердых растворов электросопротивление тем больше, чем дальше состав сплава отстоит от чистого компонента.

Максимум сопротивления (фиг. 36), как правило, лежит при содержании 50 атомных процентов каждого компонента.



Фиг. 35. Схема изменения сопротивления в гетерогенной области.



Фиг. 36. Схема изменения сопротивления в гомогенной и гетерогенных областях.

Химическое соединение на кривой электропроводности имеет максимум (фиг. 37), на кривой электросопротивления — минимум.

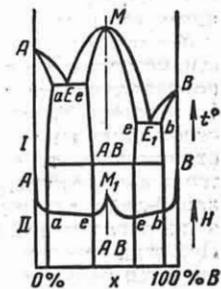
Теплопроводность сплавов. Знание коэффициента теплопроводности необходимо:

1) при расчетах температурного поля и деталей, работающих в условиях нагрева;

2) при установлении технологических процессов, связанных с нагревом и охлаждением металлов (при ковке, прокатке, сварке);

3) при изучении структурных превращений в металле.

В металле тепло переносится двумя способами: электронами проводи-



Фиг. 37. Схема изменения сопротивления при наличии химического соединения.

мости и самой решеткой с помощью тепловых колебаний. Преобладающую роль в переносе тепла играют электроны проводимости.

Количество тепла, проходящее в единицу времени τ через определенную площадь поперечного сечения S , на расстоянии l при разности температур $t_1 - t_2$, выражается формулой

$$Q = \lambda S \frac{t_1 - t_2}{l} \tau,$$

где λ — коэффициент пропорциональности, который характеризует способность материала передавать тепло из одной точки в другую при наличии разности температур.

Эта величина характеризует теплопроводность и измеряется в $\text{кал/см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}$ или в $\text{вт/см} \cdot \text{град}$. Так как 1 дж равен 0,24 кал, а 1 вт равен 1 дж/сек, то при переходе из одной системы в другую вводится коэффициент 0,24.

Например, теплопроводность меди при 0°C равна 3,93 $\text{вт/см} \cdot \text{град}$ или $3,93 \cdot 0,24 = 0,9432$ $\text{кал/см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}$.

Согласно электрическому закону Видемана — Франца отношение коэффициента теплопроводности λ к коэффициенту электропроводности χ при одинаковой температуре имеет одно и то же значение для всех металлов.

По Лоренцу $\frac{\lambda}{\chi T} = \text{const}$, где T — абсолютная температура.

Чистые металлы имеют самую высокую теплопроводность. Влияние примесей на теплопроводность сказывается значительно при их малых концентрациях и в меньшей мере при введении их в больших количествах.

Добавление легирующих элементов понижает теплопроводность, и, как правило, чем сложнее состав стали, тем ниже ее теплопроводность.

Методы определения теплопроводности металлов и их сплавов могут быть подразделены на два основных класса. К первому классу относятся методы, основанные на процессах нагревания и охлаждения, т. е. на нестационарном тепловом режиме, когда температура какой-либо точки исследуемого образца является функцией координат и времени. При этих методах непосредственно определяется только величина теплопроводности и посредством ее вычисляют теплопроводность.

Ко второму классу относятся методы, при которых температура любой точки

исследуемого образца не зависит от времени и является только функцией координат.

Методы определения теплопроводности, основанные на стационарном режиме, подразделяются на абсолютные, относительные и косвенные.

Абсолютный метод связан с созданием постоянного по длине стержня теплового потока и с изменением температурного градиента. Для уменьшения тепловых потерь образец окружают изоляцией или цилиндром, в котором создают такой же температурный градиент, какой получается в образце.

Относительный метод определения теплопроводности заключается в том, что коэффициент теплопроводности исследуемого образца определяется путем сравнения с коэффициентом теплопроводности эталона.

Косвенный метод основан на определении теплопроводности в связи с другими физическими величинами.

Этот метод позволяет определить отношение теплопроводности к электропроводности, теплопроводность и теплоемкость при выключенном токе во время охлаждения образца. Для этой цели была разработана специальная установка в НИИФ МГУ. Основную часть ее составляет вертикальная печь, находящаяся под вакуумом и состоящая из двух самостоятельно регулируемых секций. В середине печи укреплен в цапгах образец. Через образец пропускают постоянный ток.

Метод основан на уравнении теплового баланса

$$-\frac{d}{dx} \left(\lambda \frac{dt}{dx} \right) = \chi \left(\frac{dv}{dx} \right)^2,$$

где λ — коэффициент теплопроводности; χ — коэффициент электропроводности;

$\frac{dt}{dx}$ — градиент температуры вдоль исследуемого образца; $\frac{dv}{dx}$ — градиент потенциала вдоль исследуемого образца.

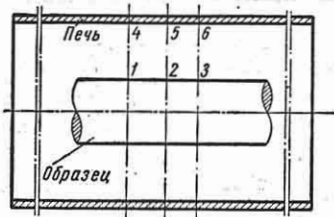
При решении уравнения граничными условиями для цилиндрических образцов являются следующие:

- 1) линии тока и тепловой поток параллельны оси цилиндра;
- 2) тепловые потери на поверхности цилиндра ничтожно малы.

Отсутствие градиента $\frac{dt}{dr}$ контролируется путем сравнения температуры

соответственно в точках 1 и 4, 2 и 5, 3 и 6 (фиг. 38). Вследствие этого охлаждение образца происходит только за счет отвода тепла вдоль его оси.

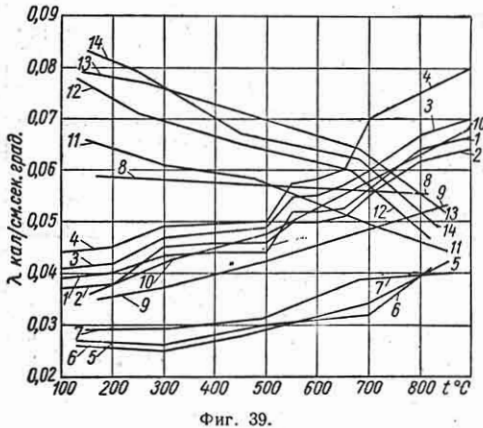
По достижении стационарного состояния производится измерение тем-



Фиг. 38. Схема контроля распределения температуры.

пературы на рабочем участке образца, силы тока, проходящего через образец, и разности потенциалов на рабочем участке образца.

На фиг. 39 показано изменение теплопроводности с ростом температуры для быстрорежущих (1—4) и теплоустойчи-



Фиг. 39.

вых (5—14) сталей. Быстрорежущие стали после отжига на 830°C закаливались с 1300°C в масле и отпускались при температурах $100\text{--}800^{\circ}\text{C}$. Теплопроводность сталей после отпуска повышается [1]; [2].

ДЕФЕКТОСКОПИЯ

Магнитная порошковая дефектоскопия

Магнитный метод порошковой дефектоскопии основан на обнаружении ферромагнитными частицами рассея-

ных магнитных полей, возникающих в намагниченном изделии над дефектами. Магнитные частицы втягиваются в магнитный поток рассеяния над дефектным участком в металле и своим скоплением отмечают дефект.

Для испытания стальные изделия намагничиваются и покрываются ферромагнитным порошком в сухом виде либо в виде суспензии порошка в жидкой дисперсионной среде, как, например, в трансформаторном масле, керосине или в мыльном водном растворе с антикоррозионными добавками.

При магнитных испытаниях требуется, чтобы детали намагничивались полем, направленным поперек или хотя бы под углом к направлению дефекта. Кроме того, необходимо, чтобы напряженность намагничивающего поля была близка к насыщению.

Методы намагничивания с указанием схемы намагничивания и областей применения сведены в табл. 5.

При выявлении внутренних дефектов необходимо применять для намагничивания постоянное поле, так как при намагничивании переменными полями магнитный поток отсечается к поверхности изделия, и внутренние слои металла остаются ненамагниченными.

Для обнаружения поверхностных дефектов целесообразно применять переменное поле тока промышленной частоты.

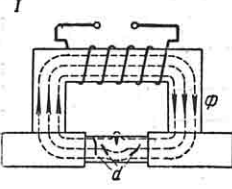
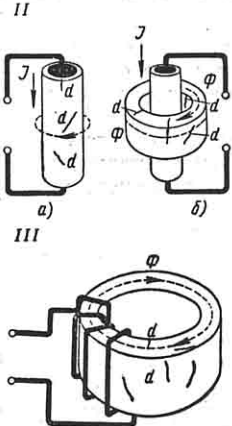
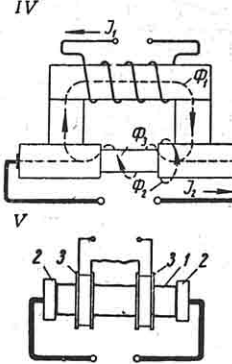
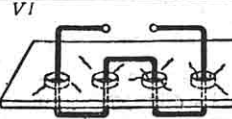
Подповерхностные дефекты легко выявляются также и при намагничивании пульсирующим полем однополупериодного выпрямленного тока.

Стальные изделия в закаленном состоянии испытываются на остаточной намагниченности, а в сыром или отожженном состоянии — при наложенном магнитном поле. В первом случае покрытие изделия порошком производится после намагничивания, а во втором — непосредственно при намагничивании.

Для обнаружения внутренних дефектов испытание производится только при наложенном магнитном поле.

Размагничивание изделий. Закаленные стальные изделия в зависимости от способа намагничивания приобретают свойства постоянных магнитов, и создаваемые ими магнитные поля могут влиять на работу расположенных поблизости электроизмерительных приборов, компасов и т. п., а также затруднять дальнейшую обработку изделия вследствие

Методы намагничивания и области применения

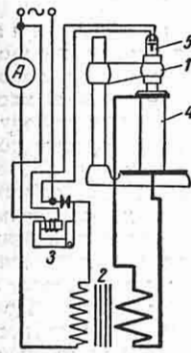
| № по пор. | Вид намагничивания | Способ намагничивания и средства | Схема намагничивания | Область применения |
|-----------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Продольное намагничивание | Магнитное поле направлено вдоль главной оси изделия. Изделие размещается между полюсными наконечниками электромагнита или внутри соленоида (эск. I) |  | Для обнаружения трещин закалки, шлифования,ковки, штамповки, сварки, усталости. Наиболее надежно выявляются дефекты поперечного направления. Продольные дефекты могут быть не обнаружены |
| 2 | Циркулярное намагничивание | Ток пропускается непосредственно через испытуемое изделие (эск. II, а) или через стержень, вставленный внутрь изделия (эск. II, б) Такое намагничивание можно произвести путем навивки на изделие гибкого кабеля и пропускания через него тока (эск. III) Для получения намагничивающего тока используются понижающие трансформаторы, мощные селеновые выпрямители и батареи аккумуляторов |  | Для обнаружения трещин закалки, шлифования,ковки, сварки, а также волосовин и закатов. Наиболее надежно выявляются дефекты продольного и радиального направления (на торцевой части), поперечные дефекты в виде трещин усталости могут быть не обнаружены Способ применяется при испытании крупных изделий типа вагонных колес, различных узлов машин сложной конфигурации, корпусов моторов и т. п. |
| 3 | Комбинированное намагничивание | Продольное и циркулярное поля одновременно накладываются на испытуемое изделие. Продольное намагничивание производится с помощью электромагнита (эск. IV) или соленоидов (эск. V), а циркулярное — путем пропускания тока через изделие |  | Для обнаружения дефектов различного происхождения и различного направления в деталях машин, инструментах |
| 4 | Намагничивание внешним полем тока | Метод осуществляется с помощью гибкого многожильного кабеля, через который пропускается ток (эск. VI) |  | Для обнаружения дефектов в котельных листах в зоне заклепочных отверстий и т. п. |

прилипания к ним частиц металла (стружки, опилок и т. д.).

В случае намагничивания изделий переменным полем для размагничивания применяется переменное убывающее по напряженности поле. Изделия, намагниченные в постоянных полях, должны размагничиваться в полях постоянных путем коммутирования (перемены направления) и уменьшения напряженности полей. Во всех случаях напряженность размагничивающего поля должна быть несколько выше напряженности намагничивающего поля.

Магнитно-дефектоскопическая аппаратура. Для намагничивания и испытания изделий применяются специальные аппараты — магнитные дефектоскопы. Ниже приводится краткое описание наиболее типичных магнитных дефектоскопов, разработанных в ЦНИИТМАШ.

Схема простейшего дефектоскопа циркулярного намагничивания типа ЦН показана на фиг. 40. Основными принадлежностями дефектоскопа являются

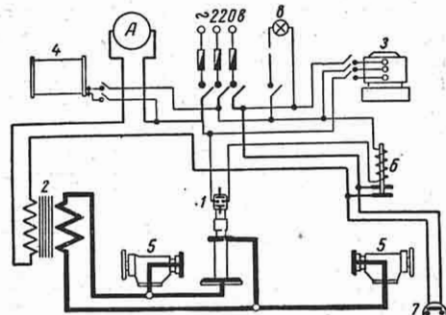


Фиг. 40.

полуавтоматический прибор 1 для закрепления изделия и пропуска тока через него и столик, в котором размещены понижающий трансформатор 2 для получения намагничивающего тока и магнитный пускатель 3. Испытуемое изделие 4 устанавливается на столик и зажимается между двумя контактными дисками, связанными посредством гибкого кабеля с клеммами вторичной обмотки трансформатора. После зажима изделия трансформатор при помощи кнопки 5 включается в сеть автоматически, и через изделие проходит намагничивающий ток. Выключение трансформатора происходит также автоматически при ослаблении нажима на рукоятку прибора, и изделие освобождается.

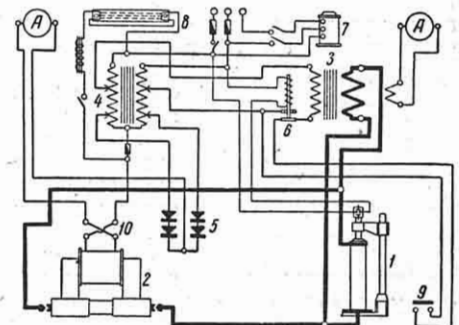
Для намагничивания изделий используется однофазный трансформатор мощностью 7,5 кВА напряжением на клеммах вторичной обмотки 5–6 В и силой тока 1200–1500 А.

На фиг. 41 показана схема магнитного дефектоскопа типа ЦНВ-2. Этот дефектоскоп представляет собой усовершенствованную модель дефектоскопа циркулярного намагничивания. Он снабжен ванной, насосом для подачи суспензии,



Фиг. 41. Схема магнитного дефектоскопа ЦНВ-2: 1 — зажимной прибор; 2 — трансформатор тока; 3 — насос для подачи суспензии; 4 — размагничивающая камера; 5 — зажимные головки; 6 — магнитный пускатель; 7 — ножной выключатель; 8 — осветительная лампа.

особым поливателем и размагничивающей камерой. Дефектоскоп имеет добавочные зажимные головки и контактные призмы для испытания пруткового материала по частям. Схема магнитного дефектоскопа ЕС-4 показана на фиг. 42. Дефектоскоп позволяет испытывать изделия при продольном, циркулярном и комбинированном намагничивании.



Фиг. 42. Схема дефектоскопа ЕС-4: 1 — зажимной прибор; 2 — электромагнит; 3 — трансформатор тока для циркулярного намагничивания; 4 — вариатор напряжения для регулировки тока; 5 — селеновый выпрямитель; 6 — магнитный пускатель; 7 — насос для подачи суспензии; 8 — осветительная лампа; 9 — ножной выключатель; 10 — переключатель.

Передвижной дефектоскоп для контроля сварных швов имеет силовой

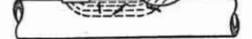
трансформатор для циркулярного намагничивания испытуемого шва переменным полем с целью выявления поверхностных трещин и селеновый выпрямитель для намагничивания швов с целью выявления подповерхностных дефектов. Для пропускания тока через изделие служат электроды в виде медных изолированных стержней, которые путем переключения могут соединяться или с клеммами трансформатора, или с клеммами выпрямителя. Дефектоскоп снабжается электромагнитными



Фиг. 43. Электромагнитные контакты: а — схема устройства; б — схема намагничивания.

магнитными контактами и шарнирным электромагнитом.

Переносные электромагнитные контакты (магнитные «пиявки») (фиг. 43, а) применяются для испытания крупных изделий по участкам. Контакты представляют собой небольшие электромагниты, питаемые от аккумуляторов током $i = 0,5 \div 1,0$ а при напряжении 24 в. При включении тока электроконтакты прижимаются к поверхности изделия своей медной полушкой, к которой подводится напряжение от трансформатора и выпрямителя. При установке двух таких контактов (фиг. 43, б) на изделии образуется замкнутая электрическая цепь, обтекаемая током, для намагничивания участка, заключенного между контактами.



Фиг. 44. Схема намагничивания изделия с помощью переносного шарнирного электромагнита для испытания сварных узлов.

Переносный шарнирный электромагнит (фиг. 44) имеет шарнирный сердечник с двумя обмотками, питаемыми током от аккумуляторов. Конструкция сердечника дает возможность установить электромагнит как на одной плоскости, так и на плоскостях, находящихся под углом одна к другой, а также на сложных конструкциях.

Методы получения магнитных порошков и суспензий. Исходным материалом для приготовления порошка служит парамагнитная окись железа в виде крокуса или железного сурика.

Способ восстановления окиси железа светильным газом. Порошок закладывают в железную камеру, снабженную трубками для ввода и вывода светильного газа. Порошок размещается на нескольких неглубоких противнях, расположенных один над другим таким образом, чтобы он омывался газом. Плотной закрытой камерой помещается в электропечь. Газ вводят в камеру при температуре в печи 230°C вначале малой струей, а затем при температуре $500\text{--}600^\circ\text{C}$ подача его увеличивается. Выходящий из камеры газ поджигается. Обработка порошка при данной температуре длится около часа. После охлаждения печи до $80\text{--}100^\circ$ доступ газа прекращают, а после полного ее охлаждения камера вынимается из печи и раскрывается.

Способ восстановления продуктами горения керосина. Порошок смешивается с керосином до получения тестообразной массы и закладывается в железную камеру. Плотной закрытой камерой с смесью помещается в электропечь при $T = 550 \div 600^\circ\text{C}$, где выдерживается до полного сгорания керосина. После дополнительной выдержки в течение получаса печь охлаждается, и камера раскрывается.

Полученный порошок проверяется с помощью постоянного магнита. При правильно выполненном процессе восстановления порошок большими массами притягивается к магниту.

Магнитная суспензия представляет собой взвесь магнитного порошка в какой-либо маловязкой жидкости: трансформаторном или веретенном масле, керосине и т. п. Приготовленный порошок засыпается в ванну из расчета $50\text{--}75$ г порошка на 1 л жидкости.

Способ приготовления магнитной пасты (по Еремину). Паста готовится следующим образом.

Раствор едкого натра в количестве 450 см^3 обычной концентрации ($35\text{--}40\%$), разбавленный 1520 см^3 воды, и олеиновая кислота в количестве 1520 см^3 подогреваются раздельно до 60°C . Затем раствор щелочи вливается при энергичном помешивании в подогре-

тую олеиновую кислоту. Вначале образуются хлопья, а потом при подогревании и размешивании в течение 45—60 мин. образуется пастообразная масса.

После остывания в теплую массу вводятся перетирированием вначале порошок магнетита в количестве 2 кг, а затем — антикоррозионные вещества: жидкого стекла 350 см³, буры 210 г, азотистокислого калия — 70 г.

Водная магнитная суспензия получается из пасты путем растворения ее в обыкновенной подогретой воде из расчета 50—75 г пасты на 1 л воды.

Рентгено- и гамма-дефектоскопия

Рентгеновская и γ -дефектоскопия позволяет выявлять скрытые пороки (нарушения сплошности и однородности) в материалах и изделиях без их разрушения или порчи, что дает возможность осуществлять не только выборочный контроль, но и сплошную проверку серийной продукции. Эти методы позволяют также определить форму и размеры де-

фектов, недоступных внешнему осмотру и непосредственному измерению.

Выявление дефектов просвечиванием основано на неравномерном ослаблении рентгеновских или γ -лучей, проходящих через участки просвечиваемого объекта с различной толщиной и плотностью. Излучение, прошедшее через такие участки, вызывает почернение фотопленки, неравномерное свечение флюоресцирующего экрана или неодинаковый электрический ток в ионизационной камере, позволяя тем самым регистрировать наличие дефектов.

Для получения и использования рентгеновских лучей служит рентгеновский аппарат, в основном состоящий из генераторного устройства, питающего рентгеновскую трубку электрической энергией, пульта управления и штатива для перемещения, установки и закрепления трубки в определенном положении относительно объекта просвечивания.

В СССР выпускаются рентгеновские аппараты для дефектоскопии на 60, 200 и 400 кв (табл. 6).

Таблица 6

Характеристика рентгеновских аппаратов для дефектоскопии

| Основные данные | Модель аппарата | | |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | РУП-60-20-1 | РУП-200-20-4 | РУП-400-5-1 |
| Назначение | Просвечивание легких сплавов и пластмасс | Просвечивание стали толщиной до 60—70 мм и алюминия до 300 мм | Просвечивание стали толщиной 100—110 мм, в частности радиальное просвечивание толстостенных тел вращения |
| Номинальное напряжение в кв | 60 | 200 | 400 |
| Анодный ток трубки в ма | 20 | 20 | 5 |
| Высоковольтная схема | Полуволновая с одним вентилем | Удвоения с пульсирующим напряжением | Полуволновая безвентильная |
| Рентгеновская трубка и ее особенности | БПВ-60 с заземленным анодом, охлаждаемым проточной водой | ЗБПМ-200 с масляным проточным охлаждением | БПВ-400 с вынесенным анодом, охлаждаемым проточной водой |
| Конструктивные особенности аппарата | Аппарат смонтирован на тележке. Генераторное устройство электрически соединено с рентгеновской трубкой одним высоковольтным кабелем | Штатив аппарата перемещается на колесах или краном. Генераторное устройство электрически соединено с рентгеновской трубкой двумя высоковольтными кабелями. | Перемещается на тележке или краном. Генераторное устройство с рентгеновской трубкой в одном блоке |
| | Имеют реле, автоматически отключающее аппарат по истечении времени экспозиции | | |
| Номинальное напряжение сети в в | 127, 220 или 380 | 220/380 | 220/380 |
| Наибольшая потребляемая мощность в ква | 2,5 | 6 | 4 |
| Габаритные размеры в мм | Тележка 995 × 555; высота штатива 1850 | Основание штатива 1200 × 1155; высота штатива 2250 | 1570 × 950 × 2000 |
| Вес в кг | 280 | 850 | 600 |

В качестве источников γ -лучей применяют искусственно радиоактивные изотопы (кобальта, тантала, иридия, цезия и др.), вытеснившие дорогие препараты естественно радиоактивных веществ. Для просвечивания стальных деталей больших толщин (до 200 мм) широкое распространение получил изотоп кобальта с массовым числом 60 (Co^{60}). Кобальт-60 испускает γ -лучи, спектр которых состоит из двух линий примерно одинаковой интенсивности с энергиями 1,17 и 1,33 мев. Период полураспада кобальта-60 равен 5,3 года.

В СССР выпускаются γ -аппараты для дефектоскопии, приведенные в табл. 7 [6].

Для выявления дефектов просвечиванием применяют фотографический, визуальный и ионизационный методы.

Наиболее распространен фотографический метод, при котором «скрытое» изображение просвечиваемого объекта образуется на рентгеновской пленке, заключенной в светонепроницаемую оболочку. После проявления на пленке появляются темные пятна в местах, на кото-

рые проектировались впадины, полости или участки пониженной плотности.

Наша промышленность выпускает рентгеновские пленки типа «Рентген-Х», требующие применения усиливающих экранов, и типа «Рентген-ХХ», использование которых возможно без усиливающих экранов.

В качестве усиливающих экранов применяют экраны флюоресцирующие и металлическую (преимущественно свинцовую) фольгу. Коэффициент усиления флюоресцирующего экрана практически колеблется между 5 и 20 (большие значения — для рентгеновских снимков, меньшие — для γ -снимков). Коэффициент усиления свинцовой фольги около 2—3.

Зернистость эмульсии флюоресцирующих экранов и рассеяние света флюоресценции (особенно при неплотной прилегании экрана к пленке), а также рассеяние электронов, освобождаемых при просвечивании в объеме экрана, понижают качество снимка. Применение металлической фольги, служащей не только усиливающим экраном, но и фильтром

Характеристика γ -аппаратов для дефектоскопии

Таблица 7

| Основные данные | Модель аппарата | | |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| | ГУП-Со-0,5-1 | ГУП-Со-5-1 | ГУП-Со-50-1 |
| Назначение | Просвечивание стали толщиной до 40—50 мм | Просвечивание стали толщиной до 100—110 мм | Просвечивание стали толщиной до 175—200 мм |
| Радиоактивный препарат | Co^{60} | Co^{60} | Co^{60} |
| Активность препарата в г-экв. радия | 0,5 | 5 | 50 |
| Защита от излучения в положениях хранения и рабочем | Защитный кожух для хранения препарата и для выпуска конического пучка лучей (угол 45°) | Облегченный рабочий кожух и кожух с нормальной защитой для хранения препарата, установленный на тележке, связаны между собой гибким шлангом (препаратопроводом). Рабочий кожух, приспособленный для выпуска конического пучка лучей с углом 53° , может быть закреплен на штативе или снят с него и перемещен к труднодоступному для просвечивания месту, которое может отстоять от штатива на 3—4 м | От электропривода |
| Перемещение препарата из положения хранения в рабочее положение и обратно | Ручное | От электропривода | От электропривода |
| Возможность просвечивания незащищенным препаратом | Препарат может быть выдвинут из защитного кожуха или вместе с съемным свинцовым цилиндром диаметром 70 мм и длиной 100 мм перенесен с помощью длинных штанг | Вместо рабочего кожуха к препаратопроводу может быть присоединен наконечник диаметром 62 мм и длиной 135 мм | Недопустимо по условиям безопасности |
| Габаритные размеры в мм | Тележка 1400×1400; высота штатива 2300 | Тележка 950×1200; высота штатива 2200 | Тележка 950×1200; высота штатива 2200 |
| Вес в кг | 165 | 550 | 700 |

для отсеивания вторичного излучения, существенно повышает качество снимка и его чувствительность к выявлению минимальных дефектов.

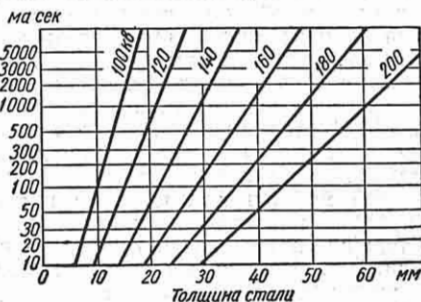
При подготовке к просвечиванию пленку укладывают в жесткую кассету или заворачивают в плотную светонепроницаемую бумагу, заменяющую кассету в случае криволинейной формы просвечиваемого объекта. Обычно при зарядке кассет пленку помещают между двумя флюоресцирующими экранами, между флюоресцирующим экраном и фольгой или между двумя листами фольги. Во время производства снимка кассета с пленкой должна быть защищена с задней стороны листовым свинцом от вторичного излучения.

Продолжительность экспозиции (выдержка) устанавливается в зависимости от толщины и материала исследуемого объекта, жесткости и интенсивности излучения, от качества усиливающих экранов, рентгеновской пленки и ее обработки. Под экспозицией принято понимать произведение интенсивности падающего на пленку излучения на продолжительность освещения, т. е. количество энергии излучения, падающего на единицу поверхности фотослоя. Графики экспозиций обычно строятся для конкретных просвечиваемых материалов, определенных экранов, пленок и фотохимической обработки. В этом случае при рентгеновских снимках зависимость произведения анодного тока на время экспозиции задается как функция анодного напряжения и толщины просвечиваемого материала при заданном фокусном расстоянии, а при γ -снимках произведение активности препарата на время экспозиции задается в функции фокусного расстояния и толщины просвечиваемого материала при заданной жесткости излучения. В качестве примера на фиг. 45 и 46 приведены такие графики для просвечивания стали.

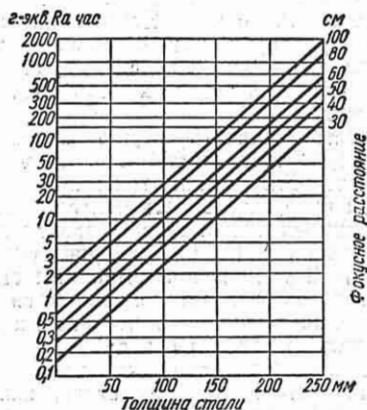
График экспозиций по фиг. 46 для просвечивания γ -излучением Co^{60} построен для пленки «Рентген-Х» с применением свинцовой фольги [4]. При других условиях выдержку, определенную из графика, необходимо умножить на соответствующий поправочный коэффициент, взятый по табл. 8.

Время экспозиции для других металлов можно определять по графику для стали после пересчета толщины просвечиваемого металла на эквивалентную толщину стали.

Выдержки, определяемые по графикам фиг. 45 и 46, следует рассматривать как ориентировочные. Уточненные режимы просвечивания устанавливаются



Фиг. 45. График для определения выдержки при просвечивании стали рентгеновскими лучами (аппарат по схеме удваивания с пульсирующим напряжением; фокусное расстояние 60 см; два усиливающих флюоресцирующих экрана; плотность почернения пленки 1).



Фиг. 46. График для определения выдержки при просвечивании стали γ -лучами кобальта 60 (плотность почернения пленки 1,2) [4].

Таблица 8

Поправочные коэффициенты для определения выдержки [4]

| Расположение пленки | Тип пленки | |
|-------------------------------------------------------------|------------|------------|
| | Рентген-Х | Рентген-ХХ |
| Между двумя листами свинцовой фольги | 1,00 | 0,55 |
| Между свинцовой фольгой и флюоресцирующим экраном | 0,66 | 0,38 |
| Между двумя флюоресцирующими экранами | 0,36 | 0,19 |

экспериментально-применительно к конкретным объектам контроля, имеющейся аппаратуре и фотоматериалам.

При выборе условий просвечивания конкретных объектов необходимо обеспечить наивысшую чувствительность к выявлению минимальных дефектов, возможную в данных условиях. Под чувствительностью снимка к обнаружению дефектов понимают выраженное в процентах отношение минимального размера выявляемого дефекта (воздушной полости или разности в толщинах) в направлении просвечивания к толщине просвечиваемого участка детали. В качестве критерия чувствительности снимка к выявлению минимальных дефектов применяют различные (проволочные и пластинчатые с бороздками и лунками различной глубины) эталоны чувствительности (дефектометры), изготовляемые из того же материала, что и исследуемый объект, и просвечиваемые одновременно с ним. Наименьшие диаметр проволоки или разница в толщинах, различимые на снимке, определяют чувствительность при данных условиях.

Чувствительность снимка зависит от многих факторов, в том числе и субъективных. Для стали толщиной более 50 мм чувствительность рентгеновского и γ -снимков можно считать практически одинаковой [3] и примерно равной 2—3%. С уменьшением толщины стали рентгеновский снимок оказывается существенно более чувствительным к выявлению минимальных дефектов, чем γ -снимок. При просвечивании более легких материалов, чем сталь, например алюминия, чувствительность снимка снижается.

Объекты сложной формы со значительной разностью толщин просвечивают по частям. Однако более жесткие сравнительно с обычно используемыми рентгеновскими лучами γ -лучи Co^{60} допускают значительную разницу в толщинах детали, просвечиваемой за одну экспозицию. Не опасаясь передержки под более тонкими и недодержки под более толстыми частями объекта, за одну экспозицию можно просвечивать на пленку γ -лучами Co^{60} стальную деталь с разницей в толщинах, равной 30 мм [4]. Если разница в толщинах отдельных элементов просвечиваемой детали больше допустимой, а просвечивание по частям неприемлемо, то в целях компенсации неравномерности толщин при-

бегают к помощи твердых, пластичных или жидких компенсаторов. Твердые компенсаторы обычно изготавливают из того же материала, что и деталь. Им придают форму, соответствующую компенсируемому объему, например форму клина при контроле сварных швов. Пластичные компенсаторы — барит, сурик или глет с воском или парафином. Жидкие компенсаторы применяются для особо сложных деталей. Стальную деталь сложной формы погружают, например, в раствор иодистого бария в воде (130 Г на 100 см³ воды) или в насыщенный раствор хлористого бария в воде.

Наибольшая интенсивность излучения, прошедшего сквозь плоскую деталь, соответствует лучу, перпендикулярному к плоскости пленки. По мере отклонения от перпендикуляра расстояние от фокуса до пленки и толщина материала в направлении просвечивания возрастают, вследствие чего уменьшается интенсивность излучения, прошедшего сквозь деталь. Этим ограничивается длина прямолинейного участка, просвечиваемого за одну экспозицию. Она не должна превышать 0,75 величины фокусного расстояния.

Контролю просвечиванием подвергают изделия с различной технологией изготовления: литые, сварные, кованные, прессованные, штампованные, клепаные и др., если в них возможны пороки в виде участков, плотность и химический состав которых отличны от плотности и химического состава основного материала.

Значительные трудности возникают при выявлении трещин, образующих весьма узкую полость. Если угол между направлением просвечивания и плоскостью разрыва металла недостаточно мал, то трещина может быть не обнаружена.

Основные макроскопические дефекты литья: усадочные раковины, газовая пористость, трещины, включения, ликвации и т. п.

Перед просвечиванием отливку очищают от земли, шлака и других загрязнений, освобождают от литников, выпоров, проволоки каркасов и т. п. Если просвечивание отливки ведется по частям, то производят ее разметку. Просвечиваемые участки маркируют свинцовыми или медными знаками.

Методика рентгеновского контроля сварных швов регламентирована ГОСТ

7512-55. Контроль сварных швов* имеет целью выявление по рентгеновским или γ -снимкам, полученным на рентгеновской пленке, следующих внутренних дефектов: в сварном шве и околошовной зоне: газовых включений (пор, свищей), шлаковых включений, непроваров и трещин.

При просвечивании сварных соединений фокусное расстояние обычно не превышает 750 мм, а ширина снимка определяется шириной сварного шва и двумя участками не менее 20 мм с каждой стороны шва.

Для просвечивания сварных швов котлов, барабанов и других полых цилиндрических и фасонных изделий удобно пользоваться трубкой с вынесенным анодом или радиоактивным препаратом. Поместив анод трубки или препарат внутри исследуемого объекта, можно за один снимок проверить сварной шов по всей окружности.

На пленке сварной шов изображается в виде светлой полосы на темном фоне более тонкого основного металла. Дефекты сварки имеют вид темных пятен различной степени почернения. Трещины сварного шва изображаются в виде резких черных зигзагообразных линий, непровары — в виде правильных черных линий, газовые поры — в виде темных точек, шлаковые включения — в виде темных точек или полос.

При контроле сварных швов чувствительность рентгеновского или γ -снимка, определенная по эталону с бороздками, согласно ГОСТ 7512-55, должна иметь значения, не превышающие указанные в табл. 9.

Таблица 9

Чувствительность рентгенографирования (рентгеновских снимков) и γ -графирования (γ -снимков) по ГОСТ 7512-55

| Толщина металла в мм | Чувствительность в % | | | |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------|
| | Сталь всех марок, медь, латунь и прочие металлы и сплавы плотностью от 6 и выше | | Алюминий и сплавы алюминия, магния и кремния | |
| | при рентгенографировании | при γ -графировании* | при рентгенографировании | при γ -графировании* |
| 5 | 3,5 | 6,0 | 6 | 12 |
| 10 | 2,5 | 4,0 | 4 | 8 |
| 20 | 1,5 | 3,0 | 3 | 6 |
| 50 | 2,0 | 2,5 | 2,5 | 3,5 |
| 100 | 2,5 | 3,0 | 3 | 4 |
| 150 | — | 4,0 | — | — |

* При γ -графировании излучением Co^{60} .

В некоторых случаях требуется выявить не только наличие, характер и размеры дефектов, но и глубину их залегания. Наиболее просто определить глубину залегания дефекта с помощью второго снимка, производимого после поворота просвечиваемого объекта на 90°, или после смещения источника излучения параллельно плоскости пленки на определенную величину (в последнем случае оба снимка производятся на одну пленку, каждый с выдержкой, равной половине общей выдержки). Сопоставлением двух снимков и простейшими вычислениями можно определить место расположения дефекта.

Пространственное представление о расположении дефектов в просвечиваемом объекте можно получить, рассматривая при помощи стереоскопа, два снимка одного и того же объекта, из которых второй снимок произведен после смещения источника излучения перпендикулярно направлению центрального луча на величину параллактического базиса (расстояние от одного зрелка до другого, в среднем равное 63—65 мм).

Изображение определенного слоя исследуемого объекта можно получить методом послойных снимков (томография). Томографический эффект достигается согласованным относительным движением в процессе съемки источника излучения, объекта просвечивания и пленки, благодаря чему особенности других слоев на снимке «смазываются» и не создают различимых контуров.

При визуальном методе изображения возникает на флюоресцирующем экране, находящемся в поле зрения наблюдателя. За изображением просвечиваемого объекта наблюдатель может следить непосредственно, будучи защищен от прямого пучка рентгеновских лучей, проходящих сквозь экран, прозрачным свинцовым стеклом, или следить за отражением этого изображения в зеркале, находясь вне зоны прямого пучка.

Экран для просвечивания покрывается солями, у которых рентгеновские лучи вызывают желто-зеленое свечение, хорошо воспринимаемое глазом. Полости и впадины изображаются на экране в виде относительно ярких пятен на более темном фоне.

Визуальный метод требует предварительной адаптации глаз и напряжения зрения. Просвечивание черных и тяжелых цветных металлов на экран

возможно при толщине детали не более 10—12 мм, так как при большей толщине интенсивность рентгеновских лучей ослабляется настолько, что не возбуждает уже видимого свечения экрана.

Визуальный метод применяется для быстрого и экономичного выявления крупных дефектов главным образом при просвечивании легких сплавов и как предварительный с последующей съемкой на пленку. Один из недостатков визуального метода — отсутствие объективного документа, фиксирующего качество исследуемого объекта, — устраняется, если изображение с флюоресцирующего экрана фотографируется обычным оптическим способом на фотопленку (флюорография).

Для визуального контроля γ -аппараты пока не применяются.

Средняя чувствительность визуального метода значительно ниже фотографического и составляет ориентировочно для стали и меди 8%, для алюминия 5%.

При ионизационном методе для регистрации дефектов применяют ионизационные камеры (иногда счетчики). Разница в интенсивности лучей после прохождения через различные участки просвечиваемого тела вызывает изменение тока в ионизационной камере и показаний измерительного прибора, позволяющее судить о наличии дефектов. Ионизационным методом нельзя установить характера, формы или расположения дефекта, так как прибор отмечает суммарный эффект от проникающего в камеру пучка лучей. Этот метод успешно применяется для определения толщины стенок (например, котла) и выявления разностенности.

Облучение рентгеновскими и γ -лучами в чрезмерных дозах представляет серьезную опасность для здоровья. Предельно допустимая (безопасная) доза, принятая в СССР, составляет 0,05 рентгена в рабочий день. Задача защиты заключается в том, чтобы снизить дозу излучения на рабочем месте по крайней мере до предельно допустимой. Основные средства защиты от рентгеновских и γ -лучей: сокращение времени пребывания рабочего в зоне облучения, увеличение расстояния от работающего до источника излучения и применение специальных защитных устройств. Защитные устройства обычно изготавливают из свинца, свинцового стекла, свин-

цовой резины, чугуна, бетона, а также (для ослабления излучения средней жесткости) из баритобетона.

В отличие от рентгеновских лучей, которые возникают лишь при включенном высоком напряжении, γ -лучи радиоактивных препаратов излучаются непрерывно и требуют обеспечения надежной защиты от вредного действия излучения и в то время, когда препарат для просвечивания не используется.

Ультразвуковая дефектоскопия

Метод обнаружения дефектов с помощью ультразвука был разработан советским ученым проф. С. Я. Соколовым в 1928 г. и с тех пор непрерывно совершенствуется [1].

Физические основы метода. Ультразвуковые колебания, являющиеся упругими колебаниями очень высоких частот, получаются с помощью пластины из пьезокварца, расположенной между двумя металлическими обкладками. На обкладки подается переменное напряжение от генератора высокой частоты радиотехнического типа. Под влиянием этого напряжения кварцевая пластина начинает колебаться с той же частотой. Эти колебания с помощью промежуточной среды (вода, масло, вазелин, ртуть) вводятся в испытываемое изделие, в котором распространяются более или менее узким пучком со скоростью, равной скорости звука. Длина волны этих колебаний зависит от частоты колебаний кварцевой пластины и скорости звука в данной среде (табл. 10).

Таблица 10

Зависимость длины волны от частоты колебаний для некоторых сред

| Частота в МГц | Длина волны в мм | | |
|------------------|------------------|------|--------|
| | Металл | Вода | Воздух |
| 0,5 | 10 | 3,0 | 0,66 |
| 1,0 | 5 | 1,5 | 0,33 |
| 5,0 | 1 | 0,3 | 0,666 |
| 10,0 | 0,5 | 0,15 | 0,333 |

Если среда, в которой распространяются ультразвуковые колебания, имеет неоднородности (дефекты), то ультразвуковые колебания на границе раздела двух сред будут отражаться. Отношение отраженной энергии к падаю-

щей (коэффициент отражения) подсчитывается по формуле

$$\frac{W_r}{W_i} = \left(\frac{\rho_1 v_1 - \rho_2 v_2}{\rho_1 v_1 + \rho_2 v_2} \right)^2,$$

где W_r и W_i —соответственно отраженная и падающая энергии; ρ и v —плотность и скорость звука в каждой из сред.

Из формулы видно, что коэффициент отражения зависит от произведения плотности на скорость звука (ρv) каждой из сред, которое носит название акустической жесткости среды. Акустические свойства важнейших сред приведены в табл. 11.

Таблица 11

Акустические свойства важнейших сред

| Среда | Скорость звука $v \cdot 10^{-5}$ в см/сек | Плотность среды ρ в Г/см ³ | Акустическая жесткость среды $\rho \cdot v \cdot 10^{-6}$ |
|------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Сталь . . . | 5,81 | 7,8 | 4,54 |
| Алюминий . . . | 6,22 | 2,7 | 1,68 |
| Латунь . . . | 4,43 | 8,4 | 3,72 |
| Медь . . . | 4,62 | 8,9 | 4,10 |
| Свинец . . . | 2,13 | 11,3 | 2,41 |
| Бакелит . . . | 2,59 | 1,4 | 0,36 |
| Полистирол . . . | 2,67 | 1,1 | 0,29 |
| Ртуть . . . | 1,42 | 13,6 | 1,93 |
| Кварц . . . | 5,75 | 2,65 | 1,52 |
| Стекло . . . | 5,20 | 2,5 | 1,30 |
| Масло . . . | 1,39 | 0,92 | 0,128 |
| Вода . . . | 1,45 | 1,00 | 0,145 |
| Воздух . . . | 0,33 | 0,00129 | 42,6 \cdot 10^{-6} |

Для оптимальной передачи ультразвуковых колебаний от кварца в испытуемое металлическое изделие рационально заменять воздушную прослойку маслом, водой, вазелином, акустическая жесткость которых по величине близка к акустической жесткости кварца.

Явление отражения ультразвуковой волны будет происходить и в том случае, если на пути ее распространения в металле встретится какая-либо неоднородность (расслоение, волосовины, газовые пузыри, шлаковые включения, флокены и т. д.). Значительная часть энергии отразится, и за дефектом образуется область ультразвуковой тени (фиг. 47).



Фиг. 47.

Фиг. 48) показывает, что при ультразвуковой дефектоскопии металлов, лежит в пределах от 0,5 до 20 мгц.

Методы ультразвуковой дефектоскопии

Существует три основных метода.

1. Теневой метод, основанный на появлении области звуковой тени за дефектом. Этот метод не получил большого распространения вследствие ряда существенных недостатков. Однако в отдельных случаях использование его целесообразно в связи с получением видимых изображений дефектов на экране.

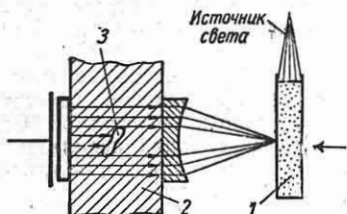
2. Импульсный метод отражения, созданный на основе достижений радиотехники, наиболее развитый, получивший широкое внедрение в производстве.

3. Резонансный метод, основанный на образовании стоячих волн в металле в результате интерференции, обладающий весьма значительными возможностями.

Теневой метод. В системах сквозного просвечивания наличие дефекта определяется обнаружением мест ультразвуковой тени при прохождении ультразвуковых колебаний через испытуемое изделие. Излучатель ультразвуковых колебаний помещается с одной стороны изделия, приемник ультразвуковых колебаний помещается с другой стороны. В качестве приемника обычно используется кварцевая пластина, которая под воздействием ультразвуковых колебаний, прошедших через изделие, выделяет на своих обкладках электрические заряды. Эти заряды после соответствующего усиления подаются на индикаторное устройство. Изделие, излучатель и приемник обычно погружаются в масляную или водяную ванну. Передвигая пластину-излучатель и пластину-приемник вдоль изделия, можно по показанию индикатора обнаружить области акустической тени и, следовательно, места залегания дефектов.

В одной из систем вместо кварцевой пластины-приемника применяется плоская ванночка I с ксилолом или другой жидкостью, в которой находятся во взвешенном состоянии мельчайшие алюминиевые чешуйки. Ванночка освещается боковым светом (фиг. 48).

Ультразвуковые колебания, проходящие от изделия 2 в ванночку, ориентируют чешуйки определенным образом. При боковом освещении эти места кажутся светлыми. Там же, где ультразвуковые колебания не происходят (область акустической тени 3), чешуйки остаются неориентированными, и эти места ка-

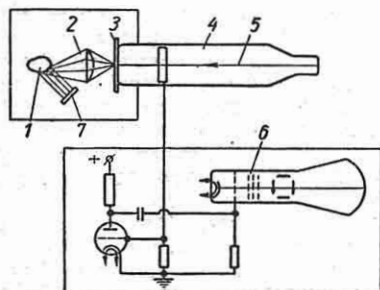


Фиг. 48.

жутся темными. Картину можно сфотографировать обычной фотокамерой.

К системам, основанным на отражении ультразвуковых колебаний, относятся и ультразвуковой микроскоп (фиг. 49).

В изделие вводится пучок ультразвуковых колебаний, получаемых обычным способом с помощью пьезокварцевой пластинки. Колебания, отраженные дефектом 1, собираются специальной ультразвуковой линзой 2, изготовляемой

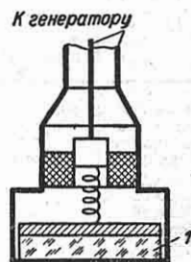


Фиг. 49.

из алюминия, плексигласа или полистирола, дающей ультразвуковое «изображение» дефекта на поверхности кварцевой пластины-приемника 3. На участках пластины-приемника, соответствующих «светлым» местам, выделяются электрические заряды. Пластина-приемник служит передней стенкой электронно-лучевой трубки 4, которая по устройству похожа на передающую трубку, применяемую в телевидении. Заряды со «светлых» мест пластины снима-

ются электронным лучом 5, обегаящим последовательно все точки пластины, и после соответствующего усиления подаются на модулятор приемной телевизионной трубки (кинескопа) 6 обычной конструкции. Электронный луч кинескопа, дающий изображение на его экране, движется синхронно с лучом передающей трубки. Это достигается обычными методами, применяемыми в телевидении. В результате на экране приемной трубки возникает изображение дефекта, которое можно получить во много раз большим, чем самый дефект. Как показывает расчет, ультразвуковой микроскоп может давать увеличение в сотни и даже тысячи раз.

Импульсный метод. В исследуемое изделие вводятся короткие ультразвуковые импульсы с помощью кварцевой пластины-излучателя 1, оформленной в виде кварцевого шупа (фиг. 50), соединенного с импульсным генератором гибким шлангом. Место приложения шупа к изделию смазывается тонким слоем масла или вазелина. Ультразвуковой импульс, двигаясь в толще изделия со скоростью звука, отражается от дефектов, находящихся в толще металла, и от задней стенки изделия.



Фиг. 50.

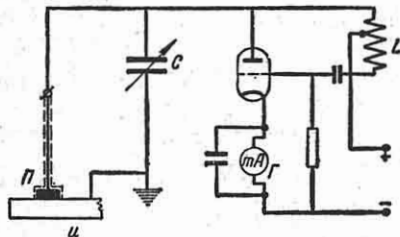
Отраженные импульсы через соответствующий промежуток времени возвращаются обратно и воздействуют на приемную кварцевую пластину, также оформленную в виде шупа, вызывая появление на ней электрических зарядов. Эти заряды усиливаются широкополосным усилителем и подаются на вертикальные пластины электронно-лучевой трубки. В момент подачи импульса в изделие электронный луч осциллографа начинает двигаться слева направо с постоянной скоростью и дает на экране осциллографа изображение горизонтальной линии. В момент прихода отраженных от дефектов и от задней стенки изделия импульсов на горизонтальной линии появляются «всплески» в виде небольших треугольников. Такая система отклонения луча носит название «ждущей резертки».

Импульс, отраженный от дефекта, приходит раньше, чем импульс, отражен-

ный от задней стенки изделия. Поэтому на горизонтальной линии появляются два всплеска: один — ближе к точке начала развертки электронного луча (импульс, отраженный от дефекта), другой — дальше (импульс, отраженный от задней стенки). По расстоянию между импульсами можно судить о глубине залегания дефекта. Работа импульсного дефектоскопа напоминает работу радиолокационной станции. Импульсным дефектоскопом можно с вполне достаточной точностью определять место залегания дефекта размером 2—3 мм² на глубине свыше 1 м в толще металла, что является его большим преимуществом. Недостатком импульсного метода является невозможность определить с его помощью форму и размер дефекта, если последний меньше, чем ширина ультразвукового пучка. Импульсный ультразвуковой дефектоскоп является самым распространенным типом дефектоскопа.

Резонансный метод. Этим методом можно измерять толщину изделий, доступного, с одной стороны, выявлять зоны коррозионного поражения и непрочая в листовых соединениях, расслоения в тонких листах.

Простейшая схема ультразвукового резонансного дефектоскопа приведена на фиг. 51. Ламповый генератор питает переменным напряжением высокой



Фиг. 51.

частоты пьезопреобразователь *П*. Последний, будучи приложен через слой контактной смазки к испытываемому изделию, возбуждает в нем упругие колебания.

Если, вращая конденсатор *С*, плавно изменять частоту генератора, то в какой-то момент может оказаться выполненным условие образования стоячей волны. При этом будет наблюдаться отклонение стрелки прибора *Г*.

В этом случае между толщиной *d* изделий и длиной *λ* упругой волны

в материале изделия должно быть соблюдено отношение

$$d = \frac{K\lambda}{2} = \frac{KC}{2f},$$

где *K* — целое число, определяющее порядок основной гармоники колебаний; *C* — скорость распространения колебаний в материале изделия; *f* — частота колебаний.

Люминесцентная дефектоскопия

В основе люминесцентного метода дефектоскопии металлов лежит возможность видеть свет люминесценции от вещества, находящегося в полости дефектов. Физическая сущность явления люминесценции заключается в следующем. Многие вещества, имеющие особую молекулярную структуру, при облучении их светом сами становятся источниками излучения света, т. е. люминесцируют.

В нормальном состоянии атомы молекул этих веществ характеризуются некоторым минимальным запасом внутренней энергии. Такое состояние является наиболее устойчивым. Сообщение атому извне добавочной энергии воздействием на него ультрафиолетовых лучей выводит его из нормального состояния и переводит в другое, так называемое возбужденное, менее устойчивое состояние. Как и во всякой системе возбужденный атом стремится вернуться в первоначальное, более устойчивое положение, выделяя при этом излишнюю энергию в виде излучения.

Различают два вида люминесценции: флюоресценцию и фосфоресценцию. Флюоресценция есть излучение света, который по окончании процесса возбуждения быстро затухает. Под фосфоресценцией понимается свечение, которое продолжается и после прекращения возбуждения молекул.

В качестве возбуждающего излучения при обнаружении поверхностных трещин люминесцентным методом наиболее широко применяются ультрафиолетовые лучи, получаемые от ртутно-кварцевых ламп, например, типа ПРК (прямая, ртутно-кварцевая низкого давления) и типа СВДШ (сверхвысокого давления). Для пропускания ультрафиолетовых лучей с длиной волны от 2537 до 3900 Å («черное излучение») устанавливаются светофильтры из так называемого «черного» стекла. Такие

фильтры препятствуют прохождению лучей любой части спектра за исключением узкой полосы и предохраняют от вредного действия лучей с более короткими линиями волн. Наиболее подходящими для этой цели являются светофильтры типа УФС-3.

Люминесцирующие вещества для дефектоскопии должны обладать хорошей проникающей способностью внутрь дефектов и инертностью в отношении химического взаимодействия с испытываемым металлом. В связи с этим при люминесцентном анализе чаще пользуются не сухими люминесцирующими порошками, а их жидкими растворами. Лучше применять растворы, обладающие небольшой вязкостью и достаточной смачиваемостью.

Испытание при люминесцентной дефектоскопии состоит из следующих операций: 1) очистки поверхности исследуемого изделия от загрязнений; 2) нанесения люминесцирующего вещества на испытываемое изделие; 3) промывки для удаления излишних люминесцирующих веществ с поверхности изделия и 4) осмотра изделия в ультрафиолетовом свете.

При обнаружении мелких поверхностных трещин рекомендуют для извлечения люминесцирующей жидкости из трещин и пор применять сухие порошки как поглотители влаги. Сами по себе эти порошки (окись магния или углекислый магний), не смоченные маслом, не люминесцируют. Поэтому свечение появляется на поверхности только в том месте, где находится дефект. В этом случае рекомендуется испытание проводить по следующей технологии: 1) выдержать деталь в ванне из трансформаторного масла, нагретого до 50°C , в течение 15—30 мин.; 2) отобреть и высушить деталь; 3) припудрить деталь порошком окиси магния или углекислого магния и затем удалить его избыток; 4) осмотреть деталь при облучении ртутно-кварцевой лампой в затемненном или полузатемненном помещении.

Наилучшая чувствительность к выявлению мельчайших трещин получается при разбавлении трансформаторного масла керосином. В этих случаях в качестве люминифора рекомендуется применять 25%-ную смесь минерального авиационного масла с керосином, подогревая ее до 80 — 90°C . Деталь выдерживают в ванне 10—15 мин. и после этого покрывают 5%-ным водным раствором кальцинированной соды, подогре-

тым до 35 — 40°C . После сушки деталь подвергается «проявлению» путем нанесения порошка, способствующего извлечению люминифора из трещин на поверхность. Таким порошком может служить магнезия или тальк, просеянные через сито 900 меш. Тяжелое минеральное масло, выступившее при этом из трещин, светится под воздействием ультрафиолетовых лучей ярким голубоватым светом.

В качестве люминесцирующего вещества рекомендуется также применять и так называемые дефектоль Р и дефектоль зелено-золотистый, выпускаемые Научно-исследовательским институтом органических полупродуктов и красителей, представляющие собой растворы люминесцирующих веществ в бензине или в бензоле. Такие растворы хорошо смачивают поверхность и свободно проникают во все поверхностные дефекты при комнатной температуре. Они хорошо эмульгируют, что позволяет быстро удалять их с поверхности деталей струей воды. В случае применения их испытание проводится в следующем порядке. На очищенную от окислы или обезжиренную поверхность детали наносится люминесцирующий раствор на 10—15 мин., который после этого смывается сильной струей воды. Затем деталь просушивают подогреванием ее до 50 — 60°C и припудряют мелким порошком силикагеля с целью извлечения люминесцирующего раствора из трещин. Оптимальный эффект получается при составе: 75% керосина, 15% вазелинового масла, 10% бензола, 0,2 части дефектоля на 1 л раствора и две-три части эмульгатора (ОП-7) на 1 л раствора.

Для люминесцентной дефектоскопии предложен новый чувствительный люминифор, названный «Нориолом» (Меликадзе Л. Д.). Он представляет собой продукт специальной переработки нефти и обладает не только интенсивным свечением, но и хорошей проникающей способностью. С помощью нориола выявляются мельчайшие трещины в сварных соединениях, возникающие при старении аустенитных сталей, трещины усталости и другие микроскопические дефекты. Нориол используется в виде раствора с лигроином или керосином (1:1).

Чувствительность люминесцентного метода дефектоскопии значительно повышается при наибольшем заполнении поло-

сти дефектов жидким люминесцирующим веществом. Однако заполнению полости дефектов препятствует воздух. Поэтому рекомендуется деталь подогреть перед нанесением холодного люминесцирующего вещества до температуры 50—60° С. При охлаждении детали объем воздуха в полости дефекта будет уменьшаться и вследствие этого люминесцирующее вещество будет проникать на большую глубину.

При контроле мелких деталей с весьма тонкими трещинами рекомендуется производить дегазацию в вакууме. В этом случае полость дефекта будет заполняться люминесцирующим раствором полностью.

ИСПЫТАНИЯ МЕТАЛЛОВ НА КОРРОЗИЮ И ИХ ХИМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ

Испытания на коррозию

Коррозионные испытания по применяемым методам разделяются на лабораторные (испытания образцов в искусственно создаваемых условиях), внелабораторные — полевые (испытания образцов в эксплуатационных условиях), натурные (испытания конструкций, машин, аппаратов и т. д.).

Лабораторные и внелабораторные испытания по характеру действующей среды подразделяются на испытания в газе (при высоких температурах), в атмосфере, в почве и в жидкости. Коррозия в жидкости подразделяется на кислотную, щелочную, солевую, морскую, речную (при полном, частичном или переменном погружении образцов). К коррозии в жидкости также относится капельная и струевая коррозия.

По условиям и назначению лабораторные методы испытания разделяются на следующие три группы [8].

При выборе метода испытания на коррозию исходят из необходимости наиболее полно воспроизвести условия, в которых испытываемому металлу или сплаву придется работать. Отступление от этих условий может привести к неправильным выводам.

Ускоренные методы испытания допускаются, если они не меняют характера коррозионного процесса. Сокращение времени испытаний достигается усилением действия фактора (или факторов), вызывающего коррозию. Результаты лабораторных коррозионных испытаний в ответственных случаях проверяются эксплуатационными испытаниями.

Для получения сравнимых результатов коррозионных испытаний соблюдаются следующие условия.

Размеры и форма образцов для серии испытаний выбираются одинаковыми; поверхность образцов принимается не меньше 10 см².

Подготовка поверхности образцов определяется условиями и целью испытания. При необходимости определить сравнительную коррозионную стойкость нескольких металлов или сплавов поверхности образцов шлифуются. Для определения отражательной способности и устойчивости чистых металлов, а также для измерения потенциалов поверхности образцов шлифуются и полируются до зеркального блеска. Для испытаний, результаты которых должны непосредственно характеризовать коррозионную стойкость металлов в эксплуатации, металл берется в том состоянии, в котором он будет использован на практике. Поверхности образцов выбираются однородными и одинаковыми, заусенцы осторожно удаляются, срезы изолируются лаком или пастой для предохранения от интенсивной коррозии.

Непосредственно перед испытаниями образцы очищаются химически чистыми

| I. Общие испытания | II. Электрохимические испытания | III. Специальные испытания |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| В открытом сосуде В шпindelном аппарате В аппарате переменного погружения В конвейерном аппарате В струевом аппарате В кислородном коррозиметре (объемный метод) В водородном коррозиметре (объемный метод) Во влажной камере. В газовой камере | Определение электродных потенциалов Определение потенциала пробы Определение поляризационных диаграмм Определение силы коррозионного тока Микроэлектрохимические методы | Определение коррозионной усталости Испытание на коррозионное растрескивание Определение склонности к межкристаллитной коррозии |

органическими растворителями (бензином, ацетоном и др.) от жира и других загрязнений. После очистки брать образцы голыми руками категорически запрещается.

Сравнительные испытания производятся в сосудах одинакового размера и формы и стойких в отношении коррозионной среды. Образцы располагают в сосудах или аппаратах так, чтобы условия воздействия на них коррозионной среды были одинаковыми и чтобы они не касались друг друга и стенок сосуда. Расстояние между образцами выдерживается одинаковым. Материал подвесок должен быть нейтральным к металлу и коррозионной среде, а также диэлектриком и достаточно прочным для длительного удержания образца в коррозионной среде. В сосуд помещаются только однородные по материалу образцы.

Состав и состояние коррозионной среды при сравнительных испытаниях выбираются строго одинаковыми. При испытаниях в движущихся растворах производится перемешивание раствора мешалками. Испытания, не допускающие колебаний температуры, проводятся в термостатах, снабженных терморегуляторами. По мере испарения воды из растворов сосуд дополняется дистиллированной водой. Коррозионная среда заготавливается в количестве, достаточном для всего цикла испытаний. Химический состав среды указывается в единицах веса на 1 л, а также в весовых или объемных процентах.

При установлении продолжительности испытания исходят из кинетики коррозионного процесса. Протекание процесса



Фиг. 52.

коррозии во времени может происходить ускоренно, равномерно или замедленно (фиг. 52, 1—3). Минимальное время испытания определяется моментом стабилизации кривой $K-t$ (коррозия — время).

Чтобы убедиться в совпадении экспериментальных результатов с данными, полученными от экстраполяции кривой $K-t$, процесс испытания несколько удлиняется. Построение кривой $K-t$ производится по результатам испытаний серий образцов с различной длительностью выдержки их в коррозионной среде. Для определения каждой точки испытывается не менее трех образцов.

Методы снятия продуктов коррозии. Точное определение потери веса в результате коррозии требует полного удаления продуктов коррозии без повреждения металла. В случаях, когда слой продуктов коррозии представляет рыхлые, слабо связанные с металлом образования, полная очистка металла часто достигается при помощи волосной щетки, мягкой резины, деревянного или костяного шпателя. Очистка происходит легче и быстрее под струей воды. При невозможности механическим путем снять продукты коррозии они удаляются соответствующими реагентами. При химическом или электрохимическом способе снятия продуктов коррозии (табл. 12) необходимо предварительно убедиться в нерастворимости самого металла образца.

Методы выражения коррозии. Методы выражения коррозии разделяются на качественные и количественные. Методы качественного выражения процесса разрушения металла часто представляют собой дополнение к количественным методам. В табл. 13 приведены основные методы выражения коррозии и их характеристики. Метод оценки результатов испытаний определяется в зависимости от того, имеет ли коррозионное разрушение равномерный, местный или межкристаллитный характер. В случае равномерной коррозии применяется весовой метод определения количества прородированного металла. Он дает непосредственную меру коррозии K_w , т. е. потерю веса в $г/м^2 \cdot час$. Показатель коррозии K_d , характеризующий уменьшение толщины металла, можно получить из формулы

$$K_d = \frac{24 \cdot 365}{1000} \cdot \frac{K_w}{\gamma} = 8,76 \frac{K_w}{\gamma} \text{ мм/год,}$$

где γ — удельный вес металла.

Для неравномерной (местной) коррозии показателем, определяющим величину разрушения, является глубина коррозионного повреждения, образовавшегося за год. Местная коррозия оценивается по тем местам, где глубина коррозионных разрушений наибольшая.

Степень неравномерности коррозии определяется по формуле

$$n = \frac{F_k}{F_o} 100\%_o$$

где F_k — площадь, пораженная коррозией; F_o — общая площадь, подвергающаяся воздействию корродирующих агентов.

Таблица 12

Наиболее распространенные способы снятия продуктов коррозии с металлов

| Основной металл | Продукты коррозии (окисления) | Реагенты для снятия продуктов коррозии | Температура в °С и прочие условия |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Углеродистая сталь | $\text{FeO}; \text{Fe}_2\text{O}_3; \text{Fe}_3\text{O}_4;$ $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O};$ $\text{Fe}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O};$ $\text{FeO}(\text{OH})$ | 1. 10%-ный виннокислый аммоний + NH_4OH 2. 10%-ный лимоннокислый аммоний 3. 10%-ная H_2SO_4 + 0,1% As_2O_3 или 0,5% тиомочевины, или 1% формальдегида 4. 5%-ный NaOH + Zn (гранулированный или в виде стружки) 5. 20%-ный NaOH + цинковая пыль. Электрохимическая обработка на катоде | 20—70°; 20—30 мин. 20—70°; 20—30 мин. 25°; для сильно приставшей ржавчины; кипячение и охлаждение 80—90°; 30—40 мин. Кипение в продолжении 5 мин. |
| То же | То же | 1. 10%-ный раствор лимоннокислого аммония 2. 10%-ный раствор цианистого натрия 3. 10%-ный раствор едкого натра 4. 75 г NaOH , 75 г Na_2CO_3 , 25 г Na_2SO_4 в 1 л раствора | Плотность тока 1,0 а/дм^2 ; 10—20 мин. 20°; плотность тока 1,6 а/дм^2 в течение 20 мин. 20—40°; плотность тока 1—2 а/дм^2 20°; плотность тока 8—10 а/дм^2 ; 5—20 мин. |
| Углеродистая и нержавеющая сталь | Высокотемпературная окалина | 1. HCl уд. в. 1,19, ZnCl_2 , Zn_2O_8 2. 10%-ная HNO_3 3. Многократное погружение в расплавленный NaNO_3 или в смесь 50% Na_2CO_3 + 50% KCN | Температура комнатная; 10—30 мин. 60°; 5—10 мин. |
| Нержавеющие стали | То же | 1. 10%-ная H_2SO_4 с ингибитором 2. 60%-ный NaOH + 40%-ный Na_2CO_3 расплав | 20—25°; плотность тока 10—15 а/дм^2 ; 10—30 мин. 500—550°; плотность тока 10—20 а/дм^2 ; 2—5 мин. |
| Оцинкованное железо и цинк | $\text{Zn}(\text{OH})_2 \cdot \text{ZnCO}_3$ $2\text{ZnO} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ $\text{ZnCO}_3 \cdot 3\text{Zn}(\text{OH})_2$ | 1. 10%-ный персульфат аммония 2. Насыщенный $\text{CH}_3\text{COO}(\text{NH}_4)$ | 50—60° |
| Свинец | $\text{PbO}; \text{PbSO}_4$ $\text{Pb}(\text{OH})_2$ $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$ PbO | 1. 25%-ный или насыщенный $\text{CH}_3\text{COO}(\text{NH}_4)$ 2. NaOH 80 г/л, моннит 50 г/л, гидрозин сернокислый 0,62 г/л | 50—60° Кипение 30 мин. |
| Олово | $\text{SnO}_2; \text{SnO}$ | 1. 5%-ная HCl 2. 15%-ный Na_3PO_4 | Комнатная температура Кипение |
| Медь и медные сплавы | $\text{Cu}_2\text{O}; \text{CuO};$ $\text{Cu}(\text{OH})_2$ | 1. 5—10%-ная H_2SO_4 2. 18%-ная HCl | 10—20°; 2—3 мин. То же |
| Алюминий и алюминиевые сплавы | $\text{Al}_2\text{O}_3; \text{Al}(\text{OH})_3$ | 1. 5%-ная HNO_3 2. 5%-ная (объемная) HNO_3 (уд. в. 1,4) + 1% $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 3. 65%-ная HNO_3 4. 20%-ная ортофосфорная кислота + 8% CrO_3 | 10—15° 15—20°; 0,5—2 часа 20°; 15—30 мин. |
| Магний | $\text{MgO}; \text{MgCO}_3$ | 20% CrO_3 + 1% AgNO_3 | Кипение 1—5 мин. |

Методы выражения коррозии [1]
(качественные и количественные показатели коррозии)

| Метод | Область применения | Характеристика метода | Обозначение и размерность |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| I. Визуальное наблюдение и фотографирование образца | Все лабораторные, полевые и натурные испытания | Возможность грубоколичественной оценки | — |
| II. Визуальное наблюдение за изменениями в растворе | Лабораторные испытания, в процессе которых появляется окраска раствора, или в растворе и на дне сосуда образуются хлопья и осадки продуктов коррозии | Грубокачественный характер данных. Ограниченность применения | — |
| III. Макроисследование | Лабораторные, полевые и натурные испытания в случаях, когда коррозия идет неравномерно или когда продукты коррозии остаются на образце | Возможность качественно оценить характер распределения коррозии и глубинную коррозионных повреждений | — |
| IV. Микроисследование | Определение характера коррозии—межкристаллитная. Характер и глубина коррозионных язв. Ход начальных стадий процесса коррозии (микронисследование в процессе коррозии) | Трудности при изготовлении шлифов | — |
| V. Определение числа коррозионных центров (определенные вероятности коррозии) | Лабораторные испытания на материалах, дающих коррозионные центры (Fe, Al) | Простой | $K_{лс}$ через промежуток времени t |
| VI. Определение времени появления первого коррозионного центра | То же | Простой | $K_{тс}$, часы, дни |
| VII. Измерения толщины образца и определение глубины коррозионной язвы | В случаях поражений, захватывающих достаточную для измерения площадь (газгольдеры, трубы, цистерны, баки) | Грубоколичественный анализ. Сложности, возникающие из-за неравномерности коррозии | $K_{д}$ мм/день, мм/год |

| Метод | Область применения | Характеристика метода | Обозначение и размерность |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| VIII. Определение потери в весе | Лабораторные и полевые испытания (в случаях, когда возможно удаление продуктов коррозии) | Трудности полного удаления продуктов коррозии без повреждения металла. Средняя характеристика разрушения (не учитывается неравномерность коррозии). Большое количество образцов для построения кривой $K-t$ (время). Ошибки при межкристаллитном или избирательном характере коррозии | K_w , Г/см ² -день, Г/м ² -год или при пересчете мм/день, м/м/год |
| IX. Определение увеличения в весе | Полевые испытания (если продукты коррозии нерастворимы и плотно держатся на образце) и лабораторные | Необходимость анализа продуктов коррозии для вычисления количества пророрродированного металла. Трудности полного собирания продуктов коррозии. Избирательный тип коррозии, а также растворимость продуктов коррозии дают неверные результаты (требуется осаждение продуктов коррозии) | K_w , Г/см ² -день, Г/м ² -год |
| X. Количественный анализ пробы раствора и полярно-графический анализ раствора в процессе коррозии | Лабораторные испытания в случае растворимых продуктов коррозии. Испытания в некоторых случаях в натуре химической аппаратуры, баков, охлаждаемых систем и др. | Возможность от одного образца получить всю кривую $K-t$. Измерение скорости медленных процессов коррозии. Ограниченность применения. Ошибки при наличии нерастворимых продуктов коррозии | K_a , Г/см ² -день, Г/м ² -год |
| XI. Определение изменения механических свойств (предела прочности и удлинения) при растяжении | Лабораторные испытания, особенно в случаях межкристаллитной и избирательной коррозии | Результат относится к наиболее слабому сечению. Возможность измерить межкристаллитную и избирательную коррозию наравне с равномерной. Меньшая чувствительность по сравнению с весовыми методами | K_s , %/год; K_t , %/год |
| XII. Определение изменения числа загибов или угла загиба | Лабораторные испытания в случаях межкристаллитной коррозии | На результат влияет только межкристаллитная коррозия и коррозионная среда. Результат дает только косвенное представление о размерах коррозии. Невысокая чувствительность | K_b , %/год |

Продолжение табл. 13

| Метод | Область применения | Характеристика метода | Обозначение и размерность |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| XIII. Определение количества выделяющегося водорода (или определение повышения давления газа) | Лабораторные испытания в случае процессов с деполяризацией за счет выделения водорода | Кривая $K-t$ может быть получена от одного образца. Большая чувствительность (в 10—20 раз больше, чем при весовом методе). Нет необходимости удалять и собирать продукты коррозии в растворе и на образце. Ошибки, если наряду с выделением водорода идет и кислородная деполяризация | K_{H_2} см ³ /см ² ·день |
| XIV. Определение количества поглощенного кислорода | Лабораторные испытания в случае процессов с преобладанием кислородной деполяризации | То же Можно разделить коррозию за счет кислородной деполяризации и за счет выделения водорода (при некотором усложнении аппаратуры). При наличии несложных степеней окисления или возможности появления химически сложных продуктов коррозии расчет прокорродировавшего металла затрудняется | K_{O_2} см ³ /см ² ·день |
| XV. Определение изменения электрического сопротивления образца | Полевые испытания (только для металлов с разной поверхностью, т. е. для достаточно тонких листов и проволоки) и лабораторные | Кривая $K-t$ получается от одного образца. Ошибки при перенесении результатов, полученных на образцах малого сечения, на массивные. Межкристаллитная коррозия отражается на результатах | K_e %/год |
| XVI. Определение теплового эффекта | Лабораторные испытания в случае энергичных коррозионных процессов | Кривая $K-t$ может быть получена от одного образца. Тепловая изоляция повышает температуру и изменяет условия коррозии в течение времени | K_T ккал/см ² ·день |
| XVII. Определение изменения отражательной способности | Полевые испытания (для определения лишь самых начальных стадий процесса коррозии в атмосфере на полированных образцах) и лабораторные | Возможность получить кривую $K-t$ для начальных стадий процесса коррозии от одного образца | K_R %/год |

Примечания: 1. Указания на действующую среду дают верхним индексом, например, K_{H_2O} , K_{H_2O} вместо K_{H_2} — K_{O_2} , вместо K_{H_2} — K_{O_2} вместо K_{H_2} и т. д.

2. Размерность дана в виде примера, т. е. вместо Γ могут быть M , вместо Γ могут быть M , вместо δ_0 — δ_1 — минуты и т. д.
3. Проценты в размерностях обозначают изменение в процентах от начального (до коррозии) значения данного показателя, например для удлинения $\frac{\delta_0 - \delta_1}{\delta_0} \cdot 100$, где δ_0 — удлинение до коррозии, δ_1 — удлинение после коррозии.

Для металлов, подверженных местной коррозии и работающих в условиях механической нагрузки, оценку производят как по коррозионным разрушениям, так и по снижению механических свойств. Показателем снижения механических свойств в результате коррозии является (метод XI, табл. 13) изменение предела прочности при растяжении и относительного удлинения (в процентах от первоначальных значений).

Количественным выражением межкристаллитной коррозии служит глубина коррозионного разрушения по границам зерен в мм за год. Эта величина непосредственно определяется на шлифе под микроскопом.

Для определения степени коррозионной стойкости металлов пользуются условными шкалами. В табл. 14 приведена шкала, разработанная Г. В. Акимовым и принятая в качестве нормы Комитетом терминологии АН СССР.

Таблица 14

Десятибалльная шкала коррозионной стойкости металлов *

| Группа стойкости ** | Скорость коррозии в мм/год *** | Балл |
|-----------------------|---------------------------------------------|------|
| I. Совершенно стойкие | Менее 0,001 | 0 |
| II. Весьма стойкие | Свыше 0,001 до 0,005 Свыше 0,005 до 0,01 | 1 |
| | | 2 |
| III. Стойкие | Свыше 0,01 до 0,05 Свыше 0,05 до 0,1 | 3 |
| | | 4 |
| IV. Пониженно стойкие | Свыше 0,1 до 0,5 Свыше 0,5 до 1,0 | 5 |
| | | 6 |
| V. Малостойкие | Свыше 1,0 до 5,0 Свыше 5,0 до 10,0 | 7 |
| | | 8 |
| VI. Нестойкие | Свыше 10,0 | 9 |

* Шкалой нельзя пользоваться при наличии межкристаллитной коррозии.

** При более грубой оценке коррозионной стойкости надлежит руководствоваться группами стойкости, при более точной оценке — баллами.

*** Скорость коррозии K_d измеряется непосредственно или в случае равномерной коррозии получается пересчетом весового показателя K_w по приведенной выше формуле.

Лабораторные испытания на коррозию. Испытания на атмосферную коррозию производятся в туманной или влажной камере. Камера служит для создания и равномерного распределения влажной атмосферы и для введения ускоряющих коррозионных агентов в замкнутое пространство. Наиболее простыми, удобными и проверенными в эксплуатации являются влажная камера конструкции ВИАМ, камера Гопиуса и камера Афанасьева [3]. Последняя более механизирована.

При выборе среды следует в основном руководствоваться условиями службы испытываемого материала. Для приближения к обычным атмосферным условиям создают повышенную влажность разбрызгиванием воды. Распылением 3%-ного раствора поваренной соли создают атмосферу приморских местностей. Для воспроизведения наиболее агрессивной атмосферы промышленных центров вводят в камеру сернистый газ до 0,1% по объему или распыляют 0,01N раствор сернистой кислоты. Камеры работают периодически. Точно установленных циклов не существует, поэтому методика испытаний отличается специфическими особенностями.

Для испытания при периодическом погружении в жидкость применяются разнообразные приборы, из которых следует отметить аппараты Гопиуса и ЦНИИТМАШ [7].

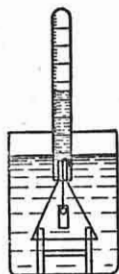
Испытания при полном погружении в жидкость могут производиться в двух вариантах: погружением образцов в воду или растворы, находящиеся в спокойном состоянии, или погружением в те же среды при перемешивании жидкости. В первом случае процесс коррозии протекает значительно медленнее, так как неподвижный слой раствора препятствует доступу кислорода воздуха к поверхности образцов. Для определения коррозии металла по ватерлинии испытания образцов проводят в полупогруженном состоянии [2].

Оценка коррозионной стойкости при испытании образцов металлов во влажной камере и на аппаратах производится по методам I, II, VII, VIII, IX (см. табл. 13).

Объемные методы количественного определения коррозии распадаются на две группы (табл. 13, методы XIII и XIV): 1) метод учета количества

газа, выделившегося в процессе коррозии; 2) метод учета количества газа, поглощенного в процессе коррозии. Первый метод применяется при коррозии в кислотах, причем процесс протекает с выделением водорода. Количество водорода в $см^3$, выделившееся в определенный промежуток времени, служит выражением скорости процесса коррозии.

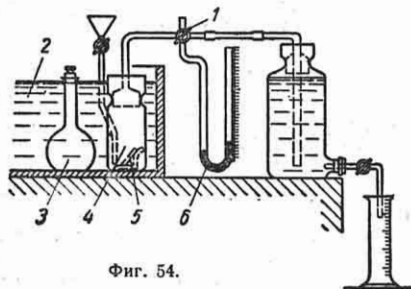
Наиболее простым прибором для объемных испытаний является обычный стеклянный стакан с раствором кислоты или соли (фиг. 53). В раствор помещают подвешенный на шейке воронки образец. Над воронкой укрепляют градуированную пробирку, наполненную раствором.



Фиг. 53.

Водород, выделяющийся при коррозии образца, поднимается в пробирку и вытесняет из нее раствор. При испытаниях магниевых сплавов в морской воде или в растворе поваренной соли отсчеты газа производятся в течение первого часа испытаний через каждый 5 мин., а затем через каждый час. Продолжительность испытания устанавливается от 5—6 час. до 5 суток в зависимости от интенсивности процесса коррозии. Недостатком данной установки является то, что объем газа не приведен к определенному давлению.

Указанный недостаток устранен в приборе Розенфельда и Акимова [9] для определения скорости коррозии образца 5 по количеству выделяющегося водорода с термостатическим контролем (фиг. 54). В этом приборе имеются трех-



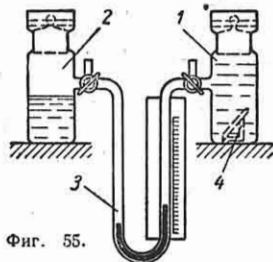
Фиг. 54.

ходовой кран 1, термостат 2, колба 3 с раствором, реакционный сосуд 4 и манометр 6.

Для определения скорости коррозии по количеству поглощенного газа при-

меняется прибор Акимова (фиг. 55). Этот прибор чрезвычайно чувствителен и позволяет количественно проследить весь процесс коррозии на одном и том же образце 4.

Здесь два одинакового объема сосуда 1 и 2 соединены манометрической трубкой 3. В оба сосуда наливают коррозионный раствор, но образец 4 помещают только в один сосуд; при этом



Фиг. 55.

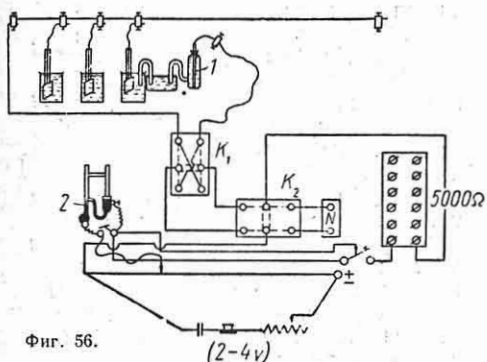
трехходовой кран становится в такое положение, что сообщение с атмосферой прекращается. Кислород поглощается в реакционном сосуде 1 (кислородная деполаризация), и столбик подкрашенного раствора в соответствующем колене поднимается. Два сосуда дают возможность исключить ошибки от температурных колебаний, так как при одинаковом объеме сосудов изменения объема воздуха при изменении температуры будут одинаковыми и соответственно влияние их на столбик жидкости в манометре будет взаимно уничтожаться. Чувствительность прибора зависит от диаметра манометрической трубки. Обычно даже для медленных процессов достаточна трубка диаметром 2—3 мм.

К основным электрохимическим методам изучения процесса коррозии относится определение: а) электродного потенциала металла, б) силы коррозионного тока, в) катодной и анодной поляризуемости, г) пробойного потенциала.

Электродные потенциалы металлов существенно меняются от состояния поверхности образцов, состава и концентрации растворов, присутствия различных газов, температуры движения жидкости. Определение электродных потенциалов производится компенсационным методом, заключающимся в том, что неизвестная электродвижущая сила элемента компенсируется известным напряжением какого-либо постоянного источника тока. Для проведения измерений электродных потенциалов необхо-

димы следующие электроизмерительные приборы: чувствительный гальванометр или капиллярный электрометр, нормальный элемент Вестона, реохорд или мостик Уитстона, каломельный электрод, магазин сопротивлений. Для более точных измерений вместо мостика применяют компенсационные приборы — потенциометры.

Схема измерений электродного потенциала металлов компенсированным способом с капиллярным электрометром 2 приведена на фиг. 56. Измеряемый элемент составляется из каломель-



ного или какого-либо другого стандартного электрода 1 и электрода исследуемого металла в определенном растворе. Электродвижущая сила неизвестного элемента e_u определяется из соотношения

$$e_u = \frac{r_2}{r_1} e_n,$$

где r_1 — величина сопротивления на мостике для e_u ; r_2 — величина сопротивления на мостике для e_n ; e_n — электродвижущая сила нормального элемента Вестона, выражается формулой

$$e_n = 1,01865 - 0,00004(t-20) - 0,000001(t-20)^2,$$

где t — температура элемента в °C.

Из этих данных легко вычислить электродный потенциал металла.

Для изучения поведения двух металлов при их контакте помещают два

исследуемых образца в раствор и замыкают их внешней цепью через гальванометр. По результатам наблюдений строится кривая сила тока — время (удобно пользоваться при этом автоматическим регистратором).

Планиметрируя кривую, полученную благодаря применению автоматического регистратора, можно получить количество протекшего электричества Q , позволяющего вычислить количество металла K анода, перешедшего в раствор:

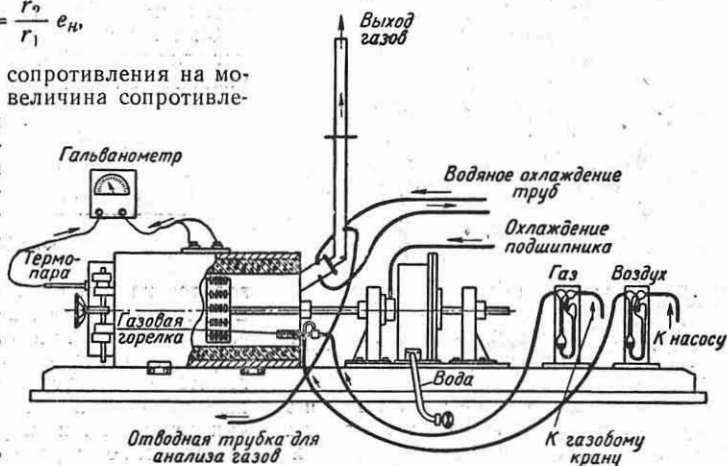
$$K = \frac{QA}{Fn},$$

где A — грамм-атом металла; F — константа Фарадея; n — валентность.

Исследование поляризационных процессов, наблюдаемых при явлениях коррозии, осуществляется в результате определения электродных потенциалов в зависимости от плотности тока.

Коррозионные испытания в газовых средах при высоких температурах проводятся по ГОСТ 6130-52 «Метод определения окислительности».

Удобной установкой для испытаний образцов металла при высоких температурах в различных газовых средах является установка ИНК-3 (фиг. 57), разработанная в ЦНИИТМАШ [5]. Установка состоит из двух основных частей: печи для испытания образцов и привода, с помощью которого вал с комплектом испытываемых образцов приводится во вращение. В печи имеются устрой-



ства для пуска и сжигания различных газовых сред. Благодаря применению

принципа вращения происходит равномерный нагрев и одинаковое обтекание испытываемых образцов газовой средой.

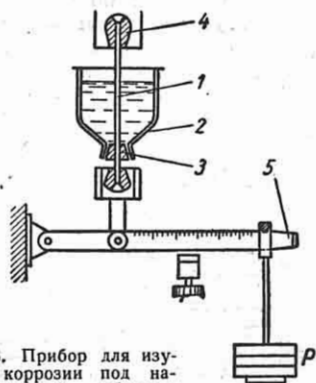
Постоянство температуры поддерживается автоматически терморегулятором.

Оценка степени коррозии производится двумя методами: по убыли и по увеличению веса образцов после опыта (см. п. VIII и IX табл. 13).

Испытания стале́й на межкристаллитную коррозию производится согласно ГОСТ 6032-51 кипячением образцов металла в растворе серной кислоты и медного купороса следующего состава: 110 г пятиводной сернокислой меди и 55 см³ серной кислоты уд. в. 1,84 на 1 л дистиллированной воды.

После кипячения образцы обследуются на потерю звука при падении их на мраморную плиту и на появление трещин при загибе образцов на угол 90°.

Испытания металла на коррозионное растрескивание при одновременном воздействии на него коррозионной среды и напряжений растяжения производят на разрывных машинах с применением приспособлений или на специальных установках. Схема одной из таких установок для осуществления механического нагружения корродирующего образца изображена на фиг. 58.



Фиг. 58. Прибор для изучения коррозии под напряжением: 1 — образец; 2 — сосуд с корродирующей жидкостью; 3 — пробка; 4 — зажим; 5 — нагружающий рычаг.

Испытания металла на коррозионную усталость в условиях одновременного воздействия на него повторно-переменных нагрузок и коррозионной среды производят на стандартных машинах для определения усталости с применением при-

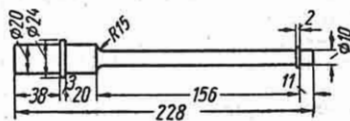
способлений, позволяющих подвергать образец воздействию коррозионных сред [5]; [6].

Простой и удобной в работе является машина ЦК-2 системы И. В. Кудрявцева, позволяющая проводить испытания на коррозионную усталость в любых коррозионных растворах. Машина осуществляет переменные изгибающие напряжения частотой 1450 циклов в минуту по схеме, изображенной на фиг. 59.

Неподвижный образец 1 располагается вертикально в сосуде 2 с коррозионной средой и зажимается нижним концом в захват машины. На верхний конец образца надевается, как на ось, штанга 3, приводимая во вращение электродвигателем 6.

На штангу эксцентрично насаживаются П-образные металлические грузы 4 различного веса. При вращении штанги эксцентрично расположенный груз создает центробежную силу, которая в свою очередь вызывает круговой изгиб образца. Необходимые при испытаниях изменения напряжений осуществляются путем смены грузов 4 на штанге 3.

Форма и размеры образца, примененного для испытания на данном приборе, указаны на фиг. 60. Испытания про-



Фиг. 60.

водятся на базе от 10^7 до $5 \cdot 10^7$ циклов. В результате испытаний строится кривая усталости при коррозии.

Испытания в естественных эксплуатационных условиях. Внелабораторные испытания образцов требуют наличия естественной коррозионной среды. В практике коррозионных испытаний полевые испытания образцов являются наиболее распространенными. Для испытания в атмосфере организуются специальные станции в различных клима-

тических условиях. Образцы располагаются обычно на стеллажах так, чтобы испытываемые поверхности были обращены к северу и югу под углом наклона к горизонту, приблизительно равным широте данной местности. При испытании в водной среде образцы на деревянных рамах прочно укрепляются под водой в озере, реке, канале или ином водоеме. В случае испытания образцов в условиях служб химического реакционного аппарата, резервуара или котла предварительно устанавливаются наличие зон (паровой, жидкой, газообразной). В этих случаях образцы должны помещаться в различных зонах: а) полностью погруженные в жидкость, б) в паровой зоне над жидкостью, в) наполовину погруженные в жидкость.

При испытании в почве образцы зарываются в различных местах в соответствии с разновидностью почвы на длительное время. Через отдельные промежутки времени образцы вынимаются для осмотра. Оценка степени коррозии образцов при испытании в естественных условиях производится так же, как при лабораторных испытаниях, на основании методов I, III, V, VI, VII, VIII табл. 13. При наличии образцов большого размера основным методом учета степени коррозии является внешний осмотр. На основании результатов наблюдений составляются графики поведения образцов в исследуемых условиях.

Испытание готовых изделий в натуре является самым совершенным видом испытаний на коррозию. Основным методом определения степени коррозии при этом способе испытания является точная фиксация наблюдаемых изменений процесса коррозии.

В качестве примера можно привести метод определения динамики процесса коррозии паровозных котлов в эксплуатационных условиях путем сопоставле-

ния результатов систематических измерений глубины типичных для данного котла коррозионных поражений во времени с водным режимом котлов.

Измерение глубины повреждений производится микрометрическим глубиномером с точностью отсчета до 0,001 мм. Для точного фиксирования поражений и контроля за измерением глубины и площади периодически делаются фотографические снимки, эскизы, слепки и оттиски с наиболее типичных повреждений. Слепки поврежденных мест обычно изготавливаются из гипса, менделеевской замазки, воска, битума, а оттиски — из свинца или тонкого листа латуни.

Сравнение эскизов и слепков может дать точную картину развития коррозии, если их имеется достаточное количество (например, пять). Необходимо учитывать, что на различных участках коррозия развивается с различной скоростью и что зачатка мест повреждений от ржавчины и накипи, необходимая перед снятием слепка, может иногда повлиять на изменение скорости развития коррозии на данном участке. Слепки перед измерением глубины повреждений обрабатываются с обратной стороны наждачной бумагой. Результаты измерений коррозионных язв в котлах изображаются графически. В зависимости от скорости развития повреждений в глубину коррозионная стойкость металла паровозных котлов характеризуется соответственно табл. 14.

Химически стойкие материалы

В табл. 15 приведены наиболее часто употребляемые металлы, некоторые неметаллические материалы и защитные покрытия для распространенных коррозионных сред, с которыми соприкасаются различные материалы в процессе эксплуатации.

Таблица 15

Химически стойкие материалы [4], [10]

| Среда | Температура в °С и условия | Материалы, применяемые по химической стойкости |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Атмосфера с невысокой влажностью (крытые помещения) | Комнатная * | Железо, защищенное смазками, лаками, красками, оксидированием, цинком, алюминием, никелем, хромом с подслоем меди и другими покрытиями |
| Атмосфера сельской местности | Меняющаяся, осадки | Железо, защищенное цинком, алюминием, лаками и красками |
| Атмосфера промышленной местности, загрязненность воздуха дымовыми газами и прочими промышленными выделениями | То же | Железо и малолегированные стали, защищенные металлургическими и лакокрасочными покрытиями. Комбинированные металлургические (цинк, алюминий) и лакокрасочные покрытия |

* Действие атмосферы выдерживают почти все металлы за исключением железа.

| Среда | Температура в °С и условия | Материалы, применяемые по химической стойкости |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Атмосфера приморской местности | Комнатная | Железо, защищенное цинком, кадмием, алюминий и лакокрасочными покрытиями |
| Вода дистиллированная (мягкая) | " | Олово, никель, серебро, платина, алюминий, монель-металл, нержавеющие стали |
| Вода колодезная и речная | " | Цинк, свинец, олово, алюминий, никель, монель-металл, нержавеющие стали, бетон, железо, покрытое цинком, лаками и красками |
| Вода пресная водопроводная | Повышенная | Медь, алюминий, латунь, бронза, медноникелевые сплавы (15—30% Ni), монель-металл |
| Вода морская | Комнатная | Медь, латунь, бронза, никель, монель-металл, нержавеющие хромистые и хромоникелевые сплавы, железо, покрытое кадмием, цинком с последующей окраской |
| Рудничные воды (кислые) | " | Хромоникелевые стали, высококремнистые ферросплавы, свинец, алюминий, бронза, алюминиевая бронза (условно) |
| Водяной пар насыщенный | 100° | Нержавеющие стали, латунь, бронза, алюминий, углеродистая сталь (в отсутствие кислорода) |
| Водяной пар перегретый | 500° | Нержавеющие хромистые и хромоникелевые сплавы, монель-металл, стеллит, хром, серебро |
| Водяной пар перегретый (высокое давление 10—14 атм) | 500—550° | Те же и, кроме того, малолегированные углеродистомолибденовые и хромомолибденовые стали (в отсутствие кислорода) |
| Почва влажная | " | Железо, защищенное асфальтом, медь, латунь, бронза, цемент с большим содержанием глинозема |
| Дымящая серная кислота Олеум, содержание > 20% SO ₃ (свободного) | Комнатная и повышенная | Хромоникелевая сталь 18-8, хромоникельмолибденовая сталь (весьма устойчива при 60% до t = -70° С), железо, золото, керамические материалы |
| Серная кислота высокой концентрации (75—98%) | Высокая | Литая сталь, железокремнистый сплав (14—16% Si), хромоникелевая сталь до температуры 60—70° С, золото, платина (до 95%), кварц, керамические материалы, эмаль |
| То же | Комнатная | Те же и, кроме того, хромоникельмолибденовая сталь, хромоникелькобальтовый сплав типа стеллита, котельное железо |
| Серная кислота средней концентрации 50—75% | Высокая | Хромоникелевая сталь (18% Cr, 8% Ni), железокремнистый сплав (более 16% Si), сплав железомолибденовый (20% Mo, 20% Ni, 60% Fe), свинец (до 78%), тантал, платина, эбонит, бакелит, эмаль, кислотоупорный цемент |
| То же | Комнатная | Те же и алюминиевая бронза, винилпласт |
| Серная кислота низкой концентрации (ниже 50%) | Высокая | Ферросилид, антихлор (16—17% Si, 2,5—3% Mo, 0,6—0,8% C), свинец, кремнистая медь (до 25% концентрации кислоты), эбонит, кварц, керамические материалы, стекло |
| То же | Комнатная | Те же и хромоникелевые стали, фаолит, винилпласт |
| Соляная кислота концентрированная | Высокая | Тантал, вольфрам, иридий, родий, золото, платина (без доступа воздуха), эбонит, резина (до 60%), андезит, стекло, бакелит, фаолит |
| То же | Комнатная | Те же и, кроме того, сплав железа с кремнием (14—16% Si), антихлор (16—17% Si, 2,5—3% Mo), свинец, винилпласт |
| Соляная кислота разбавленная | Высокая | Те же, что и для концентрированной соляной кислоты при высокой температуре |
| То же | Комнатная | Кроме перечисленных выше, допускаются никель, монель-металл до 5% кислоты, твердый свинец (с содержанием сурьмы от 6 до 10%), алюминиевая бронза, сплав Mo—Fe—Ni, хромоникелевые стали, винилпласт, кислотоупорный бетон |
| Азотная кислота концентрированная | Высокая | Железокремнистый сплав (14—16% Si), высокохромистые сплавы (выше 27% Cr), стеллит, золото, платина, эмаль |
| То же | Комнатная | Те же и, кроме того, алюминий, хромоникелевые стали, хромистая сталь, свинец |

Продолжение табл. 15

| Среда | Температура в °С и условия | Материалы, применяемые по химической стойкости |
|------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Азотная кислота средней и низкой концентрации | Высокая | Железокремнистый сплав (выше 16% Si), хромистые стали (выше 27% Cr), хромоникелевая сталь 18-8, стеллит, золото, платина, эмаль |
| То же | Комнатная | Те же и дополнительно хромистые беспористые покрытия, винипласт, кислотоупорный бетон |
| Царская водка | То же | Тантал, сплав платины с танталом, иридий, родий, стеллит, серебро |
| Фосфорная кислота концентрированная | Высокая | Хромоникелевая сталь (18—25% Cr, 8—9% Ni), хромоникелевая сталь с добавкой Mo, железокремнистый сплав (14—16% Si), свинец (с 4% сурьмы), стеллит, серебро, золото, иридий |
| То же | Комнатная | Те же и дополнительно хромистая сталь, платина, стекло, фарфор, керамика, эбонит, фаолит |
| Фосфорная кислота разбавленная | Высокая | Те же, что и для концентрированной кислоты при высокой температуре, и, кроме того, кремнистая медь, тантал (до концентрации кислоты 33% при 100° С), резина (до $t = 110^{\circ}$ С) |
| То же | Комнатная | Те же и, кроме того, алюминий до 50%-ной концентрации, никель до 20%-ной концентрации, стекло, кварц, фарфор, керамика, резина |
| Хромовая кислота концентрированная и разбавленная | Высокая | Железокремнистый сплав (> 16% Si), свинец, хромовое покрытие, золото |
| То же | Комнатная | Те же и дополнительно нержавеющая сталь 18-8, сталь Cr—Ni—Mo, асбобакелит |
| Уксусная кислота концентрированная | Высокая | Хромоникелевая сталь 18-8, железокремнистый сплав (Si > 16%), медь (в отсутствии воздуха), алюминий, стеллит, серебро, эбонит |
| То же | Комнатная | Те же и, кроме того, хромистые стали типа 12—15% Cr, свинец, олово, монель-металл, тантал, дерево, фаолит |
| Уксусная кислота разбавленная | Высокая | Те же, что для концентрированной кислоты, при высокой температуре и дополнительно бронза до 33% концентрации (для арматуры) |
| То же | Комнатная | Железокремнистый сплав (Si > 16%), алюминий, медь (для конденсаторов), кобальто-хромовый сплав (типа стеллита), алюминиевая бронза, эбонит, фаолит, винипласт |
| Едкие щелочи разбавленные | Высокая | Никель (до $t = 500^{\circ}$ С), монель-металл, нержавеющая сталь, чугун хромистый и хромоникелевый (12% Ni или 6% Ni и 5% Cr), серебро (без доступа воздуха), золото, шамот |
| Едкие щелочи (концентрированные растворы) | Высокая* | Те же и дополнительно хромистые стали, чугун (с добавкой Ni или Cr), хромоникельмолибденовая сталь, Cr—Ni сталь (в отсутствии окислителей) |
| То же | Комнатная | Те же и, кроме того, железо, электрон, латунь и бронза (до 33%), плавный базальт, винипласт |
| Едкие щелочи (слабые растворы) | Высокая | Те же и, кроме того, хром, тантал |
| То же | Комнатная | Дополнительно к указанным выше свинец, покрытия смолами |
| Аммиак газообразный | Высокая | Хромистые стали (6% Cr до 450°С, давление 250 ат), хромоникелевые стали, монель-металл, хром (до 850°С), вольфрам (до 650°С) |
| То же | Комнатная | Те же и дополнительно железо, олово |
| Водный раствор аммиака | Высокая | Хромоникелевая сталь 18-8, хромоникельмолибденовая сталь, железокремнистый сплав (14—16% Si), железо, олово, свинец, никель, монель-металл |
| То же | Комнатная | Те же и дополнительно эбонит |
| Углекислые соли | Высокая | Хромистая сталь, хромоникелевая 18-8 и хромоникельмолибденовая сталь, никель, монель-металл, асбобакелит |
| Нейтральные растворы солей, хлориды, бромиды, иодиды | " | Хромоникелевая сталь 18-8, хромоникельмолибденовая сталь, железокремнистый сплав (14—16% Si), алюминиевая бронза, никель, стекло, кварц, фарфор, керамика, эмаль |

* В крепких растворах щелочей при повышенных температурах в железных сплавах, особенно в случае напряженного состояния, может развиваться межкристаллитная коррозия, приводящая к потере прочности без заметного изменения веса. В этих условиях следует применять по возможности высоконикелевую сталь.

| Среда | Температура в °С и условия | Материалы, применяемые по химической стойкости |
|-----------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Углекислый газ | Высокая | Латунь, алюминий, монель-металл |
| Углекислый газ (водный раствор под давлением) | Комнатная | Олово, алюминий |
| Азот | Высокая | Железо, медь, тантал до 450° С, серебро, золото |
| Водород | " | Хромистые и хромоникелевые стали, алюминий, монель-металл, тантал до 350° С |
| Кислород | " | Свинец, алюминий (защитный слой окиси), монель-металл до 700° С, тантал до 350° С, золото |
| Хлор (сухой газ) | " | Чугун, сталь до 100° С, ферросилид до $t = 100^\circ \text{C}$, антихлор, кварц, каменный товар, керамика |
| Хлор | Комнатная | Те же и фаялит, облицовка резиной, винилпласт |
| Влажный газ | Высокая | То же |
| То же | Комнатная | Каменный товар, эмаль, антихлор, кварц, монель-металл |
| Сернистый газ (сухой газ) | Высокая | Кроме указанных, облицовка твердым каучуком, фаялит, облицовка свинцом, покрытие битумом |
| То же | Комнатная | Сталь, чугун, хромоникелевая сталь 18-8, железо-кремнистый сплав (14—16% Si), алюминиевая бронза, облицовка алюминием, керамика, кварц |
| Сернистый газ (влажный газ) | Различная | Дополнительно облицовка резиной, фаялит, асбестовый |
| Сероводород | Высокая | Каменный товар, свинец (до 175° С), алюминиевая бронза, алюминий, хромоникелевая сталь типа 18-8 |
| То же | Комнатная | Алюминий, хромоникелевая сталь 18-8, алитированное железо, стеллит |
| Дымовые газы | Высокая | Никель, кобальт, монель, резина, фаялит |
| То же | Комнатная | Монель, высокохромистая сталь (20—30% Cr), хромоникелевая сталь (до 600—700° С), хромокремнистая сталь (до 900° С), стеллит |
| Светильный газ | " | Те же и свинец, свинцовые покрытия, кирпичная и каменная кладка, фаялит, бакелит |
| Этиловый спирт | Высокая | Железо, алюминий, монель-металл, бетон |
| То же | Комнатная | Хромистые и хромоникелевые стали, медь, алюминий, электрон |
| Ацетон | Высокая | Дополнительно железо, стекло, дерево |
| То же | Комнатная | Высоколегированные стали, алюминий, электрон, медь |
| Фенолы | Высокая | Те же и стекло, железо |
| Водные растворы фенола | То же | Высоколегированные стали (хромистые, хромоникелевые, хромоникельмолибденовые), алюминий |
| Смоли | " | Монель-металл, медь, железо-кремнистый сплав |
| Нефть | " | Железо, медь, алюминий, никель |
| | | Хромистые, хромоникелевые стали, свинец, олово, бронза, сплав Cu + Si, монель-металл, хром |

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

Химический анализ

1. Дымов А. М., Технический анализ руд и металлов, Металлургия, 1949.
2. Стандартные методы химического анализа чугунов и сталей, АН СССР, 1940.
3. Тананаев И. В. и Яковлев П. Я., «Заводская лаборатория» № 10, 1950.
4. Энциклопедический справочник «Машиностроение», т. 3, Машгиз, 1947.

Спектральный анализ

1. Введенский Л. Е., Мандельштам С. Л. и др., Методы спектрального анализа металлов, ГИТТЛ, 1940.
2. Зайдель А. Н. и др., Таблицы спектральных линий, ГИТТЛ, 1952.
3. Калинин С. К. и др., Атлас спектральных линий, ГИТТЛ, 1952.
4. Мандельштам С. Л., Введение в спектральный анализ, ГИТТЛ, 1946.
5. Прокофьев В. К., Фотографические методы спектрального анализа металлов и сплавов, ч. I и II, ГИТТЛ, 1951.

6. Свентицкий Н. С., Стелоскоп, ГИТТЛ, 1948.

7. Смирнов В. Ф. и Стриганов А. Р., Организация и оборудование типовых спектральных лабораторий, изд. АН СССР, 1952.

Электрохимический фазовый анализ

1. Гуляев А. П., Новое в металлведении. Карбидная фаза в сталях, ВНИТОМАШ, Машгиз, 1948.
2. Гуляев А. П., Карбидная фаза в легированной стали, Энциклопедический справочник «Машиностроение», т. 3, 1947, стр. 333.
3. Дымов А. М., Технический анализ руд и металлов, Металлургия, 1949.
4. Клячко Ю. А., Атласов А. Т., Шапиро М. М., Анализ газов и включений в стали, Металлургия, 1953.
5. Попова Н. М., Карбидный анализ, ВНИТОМАШ, Машгиз, 1949.
6. Саверина Н. А., Физико-химические методы исследования металлов, ЦНИИТМАШ, кн. 36, Машгиз, 1950.
7. Труды ЦНИИТМАШ, кн. 52, Машгиз, 1952.

Газы в стали

1. Дубовой З. Я., Флокены в стали, Металлургия, 1950.
2. Ключко Ю. А., Атласов А. Г. и Шапиро М. М., Анализ газов и включений в стали, Металлургия, 1953.
3. Морозов А. Н., Водород и азот в стали, Металлургия, 1950.
4. Трубин К. Г., Газы в стали, ОНТИ, 1937.
5. Шмелев Б. А., Физико-химические методы исследования металлов, ЦНИИТМАШ, кн. 36, Машгиз, 1950.
6. Шмелев Б. А., "Заводская лаборатория" № 6, 1951.
7. Шмелев Б. А., Физико-химические исследования металлов, ЦНИИТМАШ, кн. 59, Машгиз, 1953.
8. Влияние термической обработки на структуру жаропрочных сталей, ЦНИИТМАШ, кн. 46, Машгиз, 1951.
9. Физико-химические методы исследования металлов, ЦНИИТМАШ, кн. 59, Машгиз, 1953.

Термический анализ

1. Лившиц Б. Г., Физические свойства сплавов, Металлургия, 1946.
2. Одинг И. А., Современные методы испытания металлов, Металлургия, 1944.
3. Тутов И. Е., Термический метод испытания, Энциклопедический справочник "Машиностроение", т. 3, Машгиз, 1947.

Рентгеноструктурный анализ

1. Баррэт Г. С., Структура металлов, Металлургия, 1948.
2. Глюккер R., Materialprüfung mit Röntgenstrahlen, Zweite Aufgabe, Julius Springer, Berlin 1936.
3. Жданов Г. С. и Уманский Я. С., Рентгенография металлов, ч. I и II, ОНТИ, 1938.
4. Пинес, Лекции по рентгеноструктурному анализу, ОНТИ, Гос. научно-техн. издательство Украины, 1947.
5. Ровинский Б. М., "Известия АН СССР, серия техническая" № 10, 1952.
6. Sachs G. und Weerts, Zeitschr. f. Physik, 64, 344, 1930.

Магнитный структурный анализ

1. Новые методы измерения толщины, сборник статей, АН СССР, 1946.
2. Физико-химические исследования металлов, ЦНИИТМАШ, кн. 59, Машгиз, 1953.
3. Лившиц Б. Г., Физические свойства сплавов, Металлургия, 1946.
4. Еремин Н. И., Труды ЦНИИТМАШ, кн. 59, Машгиз, 1953.
5. Клемм В., Магнетохимия, Госхимиздат, 1939.

Радиотехнический метод

1. Журавский В. А., Измерение затухания методом вибрации, "Заводская лаборатория" № 5, 1948.
2. Писаревский М. М., Определение модуля Юнга и модуля сдвига некоторых сталей при 20—500° радиотехническим методом, "Котлотрубостроение" № 3, 1948.
3. Энциклопедический справочник "Машиностроение", т. 3, Машгиз, 1947.

Определение структуры по электрическому сопротивлению и теплопроводности

1. Лившиц Б. Г., Физические свойства сплавов, Металлургия, 1946.

2. Микрюков В. Е., Исследование температурной зависимости тепло- и электропроводности сталей и металлокерамических материалов, "Вестник МГУ" № 6, 1961.
3. Попов М. М., Термометрия и калориметрия, МГУ, 1954.
4. Сальдау П. Я., Метод электропроводности при высоких температурах, АН СССР, 1952.

Магнитная порошковая дефектоскопия

1. Еремин Н. И., Магнитная порошковая дефектоскопия, Машгиз, 1947.
2. Жигадло А. И., Контроль деталей методом магнитного порошка, Оборонгиз, 1951.
3. Янус Р. И., Магнитная дефектоскопия, Гостехиздат, 1946.

Рентгеновская и гамма-дефектоскопия

1. Трапезников А. К., Рентгенодефектоскопия, Машгиз, 1948.
2. Назаров С. Т., Контроль качества сварных соединений, Машгиз, 1950.
3. Погодин-Алексеев Г. И., Назаров С. Т., Гапченко М. Н., Методы испытания сварных соединений и конструкций, Машгиз, 1952.
4. Румянцев С. В., Григорович Ю. А., Контроль качества металлов γ -лучами, Металлургия, 1954.
5. Шмелев В. К., Рентгеновские аппараты, Госэнергоиздат, 1953.
6. Сулькин А. Г., Щеглов А. Г., Гамма-аппараты для дефектоскопии, "Вестник машиностроения" № 8, 1955.
7. Городицкий С. М. и Пархоменко Г. М., Гигиена труда при работе с радиоактивными изотопами, Мелгиз, 1954.

Ультразвуковая дефектоскопия

1. Соколов С. Я., Применение ультразвука в технике и физике, "Заводская лаборатория" № 11, т. XIV, 1948.
2. Соколов С. Я., Ультразвуковой микроскоп, "Техническая физика", т. XIX, вып. 2, 1949.

Испытания металлов на коррозию

1. Акимов Г. В., Теория и методы исследования коррозии металлов, АН СССР, 1945.
2. Акимов Г. В., Методы коррозионных испытаний и исследований, "Известия Академии наук, отделение технических наук" № 6, 1940.
3. Афанасьев А. С., Усовершенствование конструкции камер для испытаний на атмосферную коррозию, "Труды второй конференции по коррозии металлов", т. I, 1941.
4. Бахвалов Г. Т. и др., Справочник гальваностегии, Металлургия, 1954.
5. Давидовская Е. А. и Кестель Л. П., Методика испытания стали на газовую коррозию при высоких температурах, сборник ЦНИИТМАШ № 61, 1953.
6. Рябченков А. В., Коррозионно-усталостная прочность стали, Машгиз, 1953.
7. Рябченков А. В. и Гураи Н. Г., Аппарат для испытания металлов на коррозию при периодическом погружении в жидкость, сборник ЦНИИТМАШ № 12 под ред. Т. А. Лебедева, 1948.
8. Терминология по коррозии и защите металлов, АН СССР, 1951.
9. "Труды Института физической химии", вып. III, АН СССР, 1951.
10. Фрайтаг Г., Материалы для изготовления химического аппаратуры, Госхимиздат, 1934.

ГЛАВА IV

СТАЛЬ

Сталь представляет собой деформируемый (ковкий) сплав железа с углеродом и неизбежными по способу получения стали примесями марганца, кремния, серы, фосфора и других элементов. Обычные сорта стали, применяемые в промышленности, содержат от 0,05 до 1,5% углерода. Основные способы получения стали — в мартеновских или в электрических печах, а также в бессемеровских или томасовских конвертерах.

Количество примесей, входящих в состав стали, в том числе и тщательно приготовленных сортов ее, весьма велико. Даже в так называемом чистом железе, выплавленном в вакууме, тщательными методами анализа (в основном — спектральными) было обнаружено до 27 элементов.

Основным элементом металлического сплава, по отношению к которому все остальные элементы являются примесями, является тот, чья атомная решетка определяет кристаллографическое строение всего сплава. Пока содержание различных элементов в стали таково, что кристаллографическое строение всего сплава определяется кристаллографической решеткой железа, сплав называется сталью. Если содержание элементов достигает таких значений, что весь сплав имеет строение, определяемое кристаллической решеткой одного из добавленных элементов, а не железа, то говорят уже о сплаве (никелевом, кобальтовом, хромистом и т. д.), а не о стали.

Примеси, входящие в состав стали, можно разделить на следующие четыре группы:

1) постоянные или обычные примеси, содержащиеся в рудах или в сырых материалах, применяемых при промышленном способе производства стали; к ним относятся углерод, кремний, марганец, сера и

фосфор; в обычной *углеродистой стали* содержится от 0,05 до 1,5% углерода, от 0,1 до 0,8% марганца, от следов до 0,4% кремния, до 0,08% серы, до 0,1% фосфора;

2) скрытые примеси, содержащиеся в стали в очень небольших количествах (обычно в сотых долях процента); к ним обычно относят газы кислород, азот, водород и др.;

3) случайные или местные примеси, переходящие в сталь из руд или сырых материалов данного географического района или как связанные с определенным технологическим процессом производства сплава;

4) специальные элементы, которые специально вводятся в состав сплава, чтобы придать ему определенные свойства: магнитные, жаропрочные, электрические и т. д.; сталь, в состав которой введены специальные примеси, называется *легированной*.

Многообразие примесей, входящих в состав стали, предопределило также и многообразие ее свойств; последнее привело к тому, что сталь является основным материалом современного машиностроения (см. классификацию стали на стр. 122).

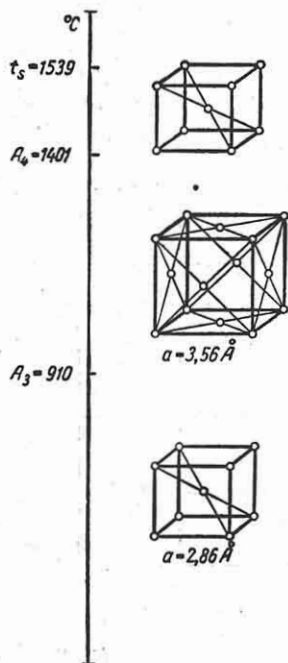
Развитие металлургии качественных сталей и создание науки о металлах во многом обязаны трудам наших великих соотечественников П. П. Аносова и Д. К. Чернова.

Павел Петрович Аносов, впервые применивший микроскоп для изучения структуры стали, проделал ряд глубоких научных исследований о влиянии легирования на свойства стали, заложил основы металлургии качественных сталей, показал пути научного анализа явлений, совершающихся при производстве стали.

Дмитрий Константинович Чернов своими выдающимися трудами по изуче-

нию явлений, связанных с изменением строения стали при нагревании и охлаждении, снискал себе мировую славу. Д. К. Чернов по праву считается основоположником современного металлостроения, давшим ключ к пониманию процессов внутренних превращений в стали — учение о критических точках.

Железо и сплавы на его основе, в том числе сталь, являются телами кристал-



Фиг. 1. Схема изменения кристаллического строения железа при нагреве (значения параметра решетки даны для температуры 20° С).

лическими. Для каждого кристаллического тела существует свой закон, вытекающий из характера межатомного взаимодействия, в результате которого атомы занимают определенное, присущее данному телу закономерное положение в пространстве, образуя кристаллическую решетку. В узлах этой решетки на определенных расстояниях и располагаются атомы кристаллического тела.

Железо в отличие от многих других элементов, образует не одну, а две кристаллические решетки. Это свойство полиморфизма определяет многие практически ценные свойства сплавов, построенных на базе этого элемента.

Так, установлено (фиг. 1), что при температуре ниже 910° С устойчивой кристаллической формой железа будет решетка объемноцентрированного куба с длиной ребра (параметром) $a = 2,86 \text{ \AA}$. В температурном интервале 910—1401° С устойчивой модификацией железа является его построение пограничноцентрированной кубической решетке, параметр которой $a = 3,56 \text{ \AA}$. Выше температуры 1401° С вновь наблюдается перестройка кристаллического строения железа в объемноцентрированную кубическую решетку, причем эта решетка сохраняется вплоть до температуры плавления, равной 1539° С.

Различным модификациям железа, являющимся следствием его полиморфизма, даны обозначения α , γ и δ . Модификации α и δ имеют одинаковую кристаллическую решетку и, строго говоря, являются одной и той же модификацией железа; различные обозначения (δ и α) присвоены, чтобы показать, с какой из разновидностей объемноцентрированной кубической решетки имеют дело — низкотемпературной или высокотемпературной.

Температурные точки перехода одной модификации в другую получили название критических точек.

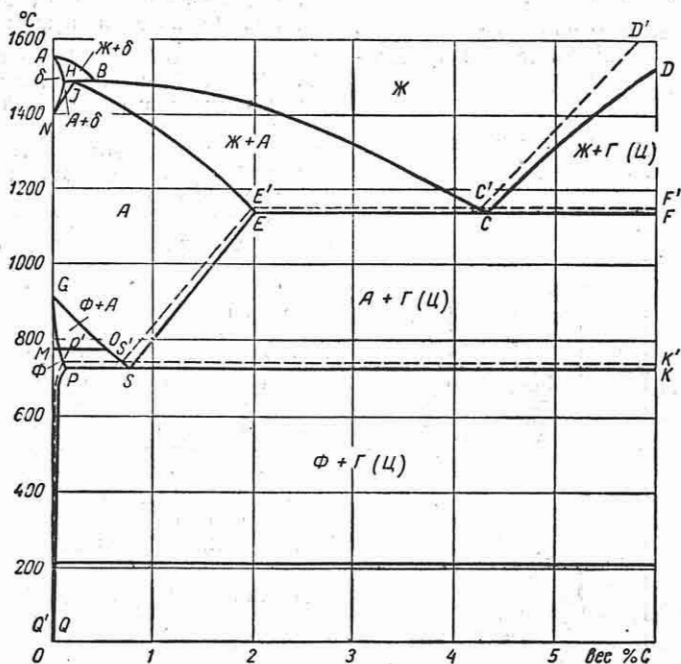
ДИАГРАММА СОСТОЯНИЙ СПЛАВОВ ЖЕЛЕЗО — УГЛЕРОД

Главной примесью в стали, определяющей ее основные свойства, является углерод. Взаимодействие углерода с α -или γ -модификациями железа приводит к образованию различных по строению и свойствам железоуглеродистых сплавов. Представление о температурных и концентрационных границах существования этих сплавов дает диаграмма состояния сплавов железо — углерод (фиг. 2).

Достоверно изучена не вся система сплавов железа с углеродом, а лишь сплавы, содержащие до 6,7% углерода. В этих пределах наблюдается неограниченная растворимость углерода в железе в жидком состоянии. В твердом состоянии растворимость углерода в железе определяется кристаллическим строением его модификаций. В граничноцентрированной кубической решетке γ -Fe-растворимость углерода достигает наибольшего значения, равного 2%; твердый раствор углерода

(и других легирующих элементов) в γ -Fe называется *аустенитом*. Максимальная растворимость углерода в α -Fe составляет 0,03% C, а в δ -Fe — до 0,1% C; твердый раствор углерода (и других легирующих элементов) в объемноцентрированной кубической решетке железа называется *ферритом*; со-

На диаграмме состояния сплавов (фиг. 2) линии стабильного равновесия нанесены пунктиром ($C'D'$, $E'C'$, $S'E'$, $P'S'K'$, $P'Q'$). Область выше линии $ABC'D'$ является областью устойчивости жидких растворов углерода в железе. Однофазные области, где в равновесном состоянии существуют твердые



Фиг. 2. Диаграмма состояния сплавов железо — углерод.

ответственно различают α -феррит (или просто феррит) и δ -феррит.

Содержание углерода в применяемых в промышленности сталях обычно превышает его предельную растворимость в α - и δ -модификациях железа. Этот избыточный, не могущий раствориться в твердом состоянии углерод образует с железом метастабильную фазу — карбид железа Fe_3C , называемый *цементитом*. Цементит имеет отличную от твердых растворов железа орторомбическую кристаллическую решетку.

В сплавах системы железо — углерод, находящихся в стабильном состоянии, высокоуглеродистой фазой является *графит*, а в метастабильном состоянии, имеющем обычно место при практически применяемых скоростях нагрева и охлаждения стали, высокоуглеродистой фазой является цементит.

растворы углерода в α -, γ - или δ -железе, ограничены линиями AHN (δ -твердый раствор), $NJE'S'G$ (γ -твердый раствор) и $GP'Q'$ (α -твердый раствор).

Все остальные области диаграммы состояния отвечают равновесному состоянию сплавов, состоящих из двух каких-нибудь фаз. Так, для случая метастабильного равновесия эти области таковы: ABH — жидкий сплав + δ -твердый раствор (δ -феррит); HJN — γ + δ -твердые растворы (аустенит + δ -феррит); $JBCE$ — жидкий сплав + γ -твердый раствор (аустенит); DCF — жидкий сплав + цементит; $ECFKS$ — γ -твердый раствор (аустенит) + цементит; GSP — α + γ -твердые растворы (феррит + аустенит); $QPSK$ — α -твердый раствор (феррит) + цементит.

Ряд линий диаграммы изображает такие температурные и концентрацион.

ные условия, при которых в равновесии находятся три фазы. Так, по линии *HJB* при перитектической температуре равновесное состояние сплавов будет определяться наличием трех фаз: δ -феррита, аустенита и жидкости. Сплавы на линии *E'C'F'*, отвечающей эвтектической температуре, в стабильном равновесии состоят из жидкости, аустенита и графита, а в метастабильном состоянии (линия *ECF*) — из жидкости, аустенита и цементита. Сплавы, лежащие на линии *PSK*, отвечающей эвтектонической температуре, будучи в метастабильном равновесии, состоят из аустенита, феррита и цементита, а при стабильном равновесии (линия *P'S'K'*) — из аустенита, феррита и графита.

Горизонтальные линии, нанесенные на диаграмме при температурах 768 и 210° С, отображают магнитное превращение феррита и цементита. Ниже 768°С феррит обладает ферромагнитными свойствами, выше этой температуры он становится парамагнитным. Таким образом, 768°С является точкой Кюри для феррита. Аналогичные процессы происходят в цементите при нагреве его на температуру выше 210°С, когда цементит из ферромагнитного состояния переходит в парамагнитное. Температура 210°С — точка Кюри для цементита.

Железоуглеродистые сплавы, содержащие свыше 2% углерода (и ряд неизбежных по способу производства примесей), называются *чугунами* (см. гл. V). Сплавы, содержащие менее 2% углерода, относятся к группе сталей.

Кристаллизация сплавов, содержащих до 0,5% углерода, начинается при охлаждении до температур, соответствующих линии *AB*.

Сплавы, содержащие до 0,1% углерода, затвердевают с образованием δ -твердого раствора. При затвердевании сплавов, содержащих от 0,1 до 0,5% углерода, вначале также образуется δ -твердый раствор, однако при дальнейшем охлаждении до перитектической температуры (до линии *HJB*) происходит реакция взаимодействия жидкости (расплава) и кристаллов δ -твердого раствора, приводящая к образованию γ -твердого раствора (аустенита).

В результате закончившейся кристаллизации сплавы приобретают однофазную структуру γ -твердого раствора.

Стали, содержащие от 0,5 до 2,0% С, сразу начинают кристаллизоваться с

образованием кристаллов γ -твердого раствора; температуры начала кристаллизации сталей разного состава определяются участком кривой *BC*, температуры конца кристаллизации — участком кривой *JE*.

Явление полиморфизма железа определяет характер дальнейших превращений при охлаждении стали от аустенитного состояния. Перестройка гранцентрированной кубической решетки γ -железа в объемноцентрированную кубическую решетку α -железа вызывает превращение аустенита в феррит, наблюдаемое в процессе охлаждения стали различных марок. Температура полиморфного превращения $\gamma \rightleftharpoons \alpha$ решеток для безуглеродистого чистого железа составляет 910°С; по мере увеличения содержания углерода до 0,8% температура начала превращения аустенита в феррит непрерывно снижается, достигая при 0,8% С наименьшего значения, равного 723°С. При дальнейшем увеличении содержания углерода от 0,8 до 2,0% температура превращения аустенита в феррит при охлаждении стали остается неизменно равной 723°С.

Внедрение углерода в решетку железа приводит не только к снижению температуры превращения, но и к появлению температурного интервала, в котором происходит это полиморфное превращение одного твердого раствора стали данного состава (например, аустенита) в другой (феррит). Таким образом, если в чистом железе имелась одна критическая точка превращения $\gamma \rightleftharpoons \alpha$ -решеток, обозначаемая A_3 , то при добавлении к железу углерода критическая точка A_3 соответствует температуре, при которой (в процессе охлаждения) начинается превращение аустенита в феррит. По достижении критической точки A_1 заканчивается указанное превращение и происходит эвтектонидная реакция. По мере увеличения содержания углерода точка A_3 непрерывно снижается; положение точки $A_1 = 723^\circ\text{C}$ не зависит от содержания углерода. Когда концентрация углерода в стали достигает 0,8%, обе критические точки сливаются ($A_1 \equiv A_3 = 723^\circ\text{C}$) и при дальнейшем увеличении содержания углерода сохраняют это значение.

При малых скоростях нагревания и охлаждения, применяемых при построении диаграммы состояний сплавов, полиморфное превращение одного твердого раствора в другой происходит при

небольших переохлаждениях. Это предопределяется диффузионным характером перестройки структуры сплава: наряду с изменением типа кристаллической решетки растворителя — железа происходит также диффузионное перераспределение концентраций атомов углерода.

Изменение пространственного положения атомов в решетке железа приводит к резкому изменению растворимости углерода. Так, в разбираемом нами случае превращения аустенита в феррит при охлаждении стали предельная растворимость углерода скачкообразно уменьшается с 0,8 до 0,03%.

Следовательно, при перестройке γ - в α -решетку появляется избыточное количество углерода, которое не может быть растворено в феррите. Этот углерод, выделяясь из решетки железа диффузионным путем, образует, как указывалось выше, карбид железа — цементит (Fe_3C). Таким образом, аустенит в стали превращается при охлаждении в феррит + цементит. Относительное количество этих продуктов превращения аустенита зависит от содержания углерода в стали; естественно, что чем больше углерода в аустените, тем большее количество цементита должно быть в этой смеси, тогда как в обратном случае в структуре будет наблюдаться большее количество феррита.

Особое название получила структура, образующаяся при превращении аустенита, содержащего 0,8% С. Такой аустенит претерпевает превращение не в интервале температур, а при одной температуре $A_1 = 723^\circ\text{C}$. Эта температура называется эвтектоидной, а реакция образования смеси двух твердых фаз (феррита и цементита) в результате превращения исходной, также твердой фазы (аустенита) носит название эвтектоидной реакции. Эвтектоидная реакция протекает в невариантных условиях равновесия в сплаве; это означает, что при незначительных переохлаждениях относительно эвтектоидной температуры превращение аустенита связано с практически одновременным образованием частичек феррита и цементита. В результате такого одновременного образования кристаллика феррита и цементита они образуют мелкую (дисперсную) смесь. Эта структура, получившаяся после протекания эвтектоидной реакции превращения аустенита, называется *перлитом*.

Равновесные структуры стали. Под *структурой* металлического сплава понимают характер и взаимное расположение различных фаз, определяемых для данного сплава его химическим составом и примененной термической или механической обработкой.

Согласно диаграмме состояния железоуглеродистых сплавов при комнатной температуре равновесными структурами сталей разного состава являются те, которые состоят из фаз феррита, цементита или перлита.

Ввиду весьма малой растворимости углерода в объемноцентрированной кубической решетке α -железа (см. диаграмму состояний) структура, состоящая практически из одного феррита, наблюдается только в технически чистом железе (фиг. 3).

Феррит обладает низкой прочностью и твердостью ($H_B = 80-100$) и высокой пластичностью.

Цементит обладает высокой твердостью ($H_B > 700$) и хрупкостью; температура плавления $\sim 1600^\circ\text{C}$. Большое количество цементитных образований в структуре отчетливо видно лишь при изучении сталей с высоким содержанием углерода (фиг. 4). Однако структурно свободный цементит можно наблюдать и в малоуглеродистых сталях (фиг. 5).

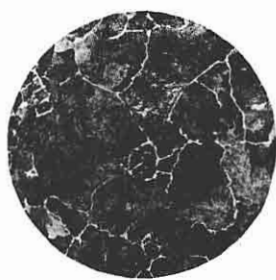
Перлит наблюдается под микроскопом в виде смеси двух фаз — феррита и цементита.

При медленном охлаждении, отвечающем условиям равновесия, полностью перлитная структура образуется по эвтектоидной реакции в стали, содержащей 0,8% углерода. В зависимости от формы присутствующих в перлите фаз различают зернистый перлит (фиг. 6), в котором цементит имеет форму глобулей, равномерно распределенных по ферритным зернам, и пластинчатый перлит (фиг. 7), в котором обе фазы — феррит и цементит — имеют форму вытянутых пластинок.

Структура сталей различного состава состоит обычно из сочетания указанных структурных составляющих. Так, стали, содержание углерода в которых находится в пределах от 0,025 до 0,8%, называемые доэвтектоидными сталями, содержат феррит и перлит. Соотносительное количество фаз в структурах доэвтектоидных сталей зависит в первую очередь от содержания углерода (фиг. 8 и 9).



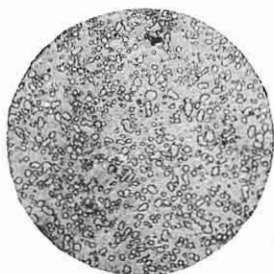
Фиг. 3. Микроструктура технически чистого железа, $\times 150$.



Фиг. 4. Микроструктура стали, содержащей 1,4% углерода; по границам зерен видна сетка цементита (белая оторочка). $\times 300$.



Фиг. 5. Микроструктура котельной стали марки 3Т; по границам зерен феррита имеются частицы цементита. $\times 500$.



Фиг. 6. Микроструктура стали (0,8%С), обработанной на зернистый перлит. $\times 300$.



Фиг. 7. Микроструктура стали (0,8%С), обработанной на пластинчатый перлит. $\times 500$.



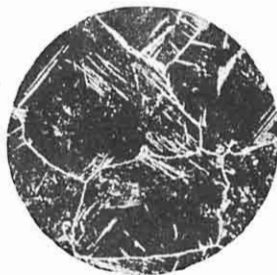
Фиг. 8. Микроструктура стали, содержащей 0,35% углерода, $\times 300$.



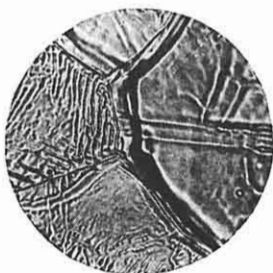
Фиг. 9. Микроструктура стали, содержащей 0,7% углерода. $\times 300$.



Фиг. 10. Микроструктура стали, содержащей 1,3% углерода. $\times 300$.



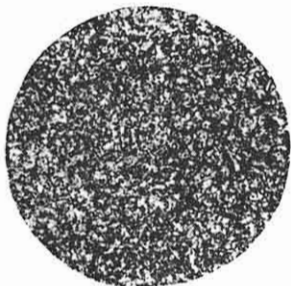
Фиг. 11. Микроструктура стали, содержащей 1,5% углерода. $\times 300$.



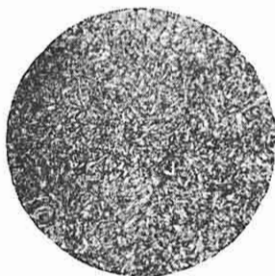
Фиг. 12. Микроструктура хромоникелемолибденовой стали (0,1%С) при 1200°С. $\times 1000$.



Фиг. 13. Микроструктура закаленной стали: темные мартенситные иглы на фоне аустенитных зерен. $\times 500$.



Фиг. 14. Микроструктура углеродистой стали (0,45%С) после закалки и отпуска на 300—380°С; троостит. $\times 500$.



Фиг. 15. Микроструктура углеродистой стали (0,45%С) после закалки и отпуска на 430—500°С; сорбит. $\times 500$.

Стали, содержащие более 0,8% С, относятся к заэвтектондным сталям и имеют структуру, состоящую из перлита и цементита. Чем больше содержание углерода в заэвтектондной стали, тем соответственно большее количество цементитных частиц наблюдается в структуре (фиг. 10 и 11).

При нагреве сталей выше температур полиморфных превращений структура состоит из зерен аустенита.

Аустенит, представляющий собой твердый раствор углерода и присутствующих в стали примесей в железе, является высокотемпературной структурной составляющей обычных (так называемых углеродистых) сталей.

На фиг. 12 приведена структура стали, наблюдаемая при нагреве образца в вакууме на температуру 1200° С (из коллекции акад. Н. Т. Гудцова).

Сталь, имеющая аустенитную структуру, весьма пластична. Это используется в технологии производства стальных полуфабрикатов: операции горячей прокатки,ковки и штамповки ведут при температурах, обеспечивающих получение аустенитной структуры.

ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ

В основе процессов термической обработки стали лежит явление полиморфизма основного элемента — железа и соответственно полиморфизма твердых растворов на базе α - и γ -железа, определяющих структуру стали. В результате полиморфных превращений резко изменяется способность железа к растворению главной примеси стали — углерода.

Полиморфные превращения твердых растворов стали данного состава происходят в определенном интервале, ограниченном нижней A_1 и верхней A_3 критическими точками.

Первым следствием полиморфизма твердых растворов стали является рекристаллизация в твердом состоянии, представляющая собой явление изменения кристаллического строения стали, происходящее при нагреве или при медленном охлаждении на определенные температуры — критические точки. Рекристаллизация заключается в образовании новых зерен.

Образование этих новых по форме и размеру зерен при малых степенях переохлаждения происходит диффузионным путем, т. е. путем возникновения и последующего роста зародышей новой фазы — так называемых центров кристаллизации.

Количество центров кристаллизации и скорость их роста зависят от многих факторов, главными из которых являются:

а) температура нагрева или охлаждения стали относительно температуры полиморфного превращения, т. е. критических точек;

б) присутствие нерастворимых примесей, облегчающих образование центров кристаллизации;

в) пластическая деформация, вызывающая течение металла в процессе рекристаллизации;

г) рекристаллизация, сопутствующая в ряде случаев пластической деформации.

Практическое осуществление перекристаллизации связано с нагревом стали до температур, лежащих несколько выше соответствующих для данного состава критических точек; при этом происходит образование зерен новой фазы — аустенита. К операциям термической обработки, в основе которых лежит явление перекристаллизации, относятся, в частности, отжиг и нормализация (см. т. 5, гл. XI).

Основным назначением отжига и нормализации является создание однородной структуры стали, обеспечивающей лучшую обрабатываемость изделий и более высокий уровень механических свойств. В результате перекристаллизации в твердом состоянии, составляющей сущность операций отжига и нормализации, удается исправить такой существенный дефект стальных заготовок, каким является крупнозернистая структура, полученная в результате перегрева.

Перегрев стали является дефектом, образующимся при нагреве на высокие температуры (порядка 1000—1200° С). Этот дефект связан с резким укрупнением зерен и падением свойств вязкости.

Изменение величины зерна при нагреве стали характеризуется следующими понятиями.

Начальное зерно аустенита — размер аустенитного зерна в момент окончания перлитно-аустенит-

ного превращения; это зерно обычно очень мелкое.

Действительное зерно — зерно аустенита, полученное в данных условиях нагрева при конкретной термической обработке; размеры перлитных зерен, получившихся при охлаждении стали, зависят в первую очередь от размеров зерен аустенита, из которых они образовались.

Природное (наследственное) зерно — зерно аустенита, полученное в результате определенной технологической пробы — нагрева до температуры 900—1000°С. Так как аустенитное зерно растет только при нагреве (при последующем охлаждении зерно практически не изменяется), то максимальная температура нагрева стали в аустенитном состоянии — иными словами, природное (наследственное) зерно — определяет окончательный размер зерна.

Для определения величины зерна существует стандартная восьмибалльная шкала, в основе которой лежит число зерен, видимых в поле микрошлифа при увеличении в 100 раз. Число зерен подсчитано по формуле $n = 2^{N-1}$, N — балл по зерну, а n — число зерен на 1 кв. дюйм при увеличении 100. Сталь с зерном от 1-го до 4-го балла считается крупнозернистой, от 5-го до 8-го — мелкозернистой. Для определения, является ли исследуемая сталь наследственно мелкозернистой или крупнозернистой, шлифы этой стали, на которых путем специальной термообработки зафиксирован размер аустенитного зерна, образовавшегося при высокотемпературном нагреве, рассматривают под микроскопом при увеличении 100 и сравнивают с набором стандартных микрофотографий (см. ниже фиг. 30).

Новая 16-балльная размерная шкала определения величины зерна построена таким образом, что число зерен на 1 мм² может быть определено по формуле $n = 2^{N+3}$, где N — номер балла по шкале.

Крупнозернистая структура стали вызывает значительное падение свойств вязкости: изделия, подвергаемые динамическим нагрузкам, должны иметь мелкозернистую структуру. Однако мелкозернистые стали несколько хуже обрабатываются резанием и отличаются сравнительно меньшей прокаливаемостью.

Ряд технологических операций при изготовлении стальных изделий и полуметаллов, в частности операции

закалки, горячей пластической деформации (ковка, штамповка и др.), неизбежно связаны с нагревом на высокие температуры (около 1000°С и выше), что может в некоторых случаях привести к перегреву, образованию крупнозернистой структуры и резкому падению ударной вязкости. При исследовании кинетики процессов роста зерна установлено, что зерно стали разных марок и даже одной и той же марки, но разных плавок, обнаруживает различную склонность к росту при нагревах, на что большое влияние оказывает химический состав стали. Так, при легировании небольшими количествами ванадия или титана (0,1—0,4%) сталь приобретает малую склонность к росту зерен при нагреве (становится наследственно мелкозернистой); к аналогичным результатам приводит присадка алюминия в ковш из расчета 300—400 г на 1 т жидкой стали. Все увеличивается применение машиностроительной стали, содержащей 0,002—0,004% бора. В этих марках стали практически не обнаруживается тенденция к укрупнению зерен при нагреве на очень высокие температуры.

Однако в тех случаях, когда состав стали не обеспечивает получения мелкозернистой структуры, в результате нагрева на высокие температуры сталь приобретает нежелательную крупнозернистую структуру. Для исправления этого дефекта осуществляют операции отжига или нормализации; нагрев на температуры, лишь немного превышающие (на 30—50°С) критические точки, приводит к образованию мелких зерен аустенита, а затем при последующем охлаждении — к мелким зернам перлита и феррита или одного перлита. Таким образом, применение отжига или нормализации позволяет изменить исходную крупнозернистую структуру перегрева и повысить сопротивление стали динамическим нагрузкам.

Исследование процесса превращения аустенита показало, что кинетика этого процесса существенным образом зависит от применяемых скоростей охлаждения. Если эти скорости больше, чем предусмотренные равновесной диаграммой состояний, то имеет место явление переохлаждения в твердом состоянии, смысл которого состоит в том, что металлы и сплавы, имеющие полиморфные превращения, способны сохранять при охлаждении ниже критической точки фазы, характерные для

температур выше критической. Применительно к стали это означает, что при определенной скорости охлаждения можно в течение известного времени сохранить аустенит в структуре стали при температуре ниже $A_1 = 723^\circ\text{C}$. Таким образом, переохлаждение стали в твердом состоянии связано со сдвигом температуры полиморфного превращения, указанной в диаграмме состояний железоуглеродистых сплавов, вниз по температурной шкале. Наблюдается явление гистерезиса критических точек.

При достаточно большой скорости охлаждения, переохлаждение аустенита и соответственно гистерезис критической точки перехода аустенита в феррит достигают значительной величины, в результате чего полиморфные превращения твердых растворов стали происходят в необычных условиях, при весьма низких температурах, затрудняющих протекание диффузии. При большой скорости охлаждения переохлаждение аустенита в обычной углеродистой стали настолько велико, что температура его полиморфного превращения в феррит становится равной $200\text{--}250^\circ\text{C}$ вместо 720°C .

Когда резкое охлаждение (*закалка*) приводит к тому, что превращение аустенита в феррит проходит при низких температурах, исключающих диффузию (выход атомов углерода из решетки образовавшегося феррита, в объемноцентрированной кубической решетке оказывается задержанным весь углерод, входящий в состав стали. Такое пересыщение объемноцентрированной решетки углеродом сказывается на ее строении. Действительно, как впервые было показано исследованиями Н. Я. Селякова, Г. В. Курдюмова и Н. Т. Гудцова, в результате закалки образуется искаженная кристаллическая решетка. Пересыщение феррита углеродом приводит к получению тетрагональной (вместо кубической) объемноцентрированной решетки. Чем больше углерода находится в решетке, тем больше она искажается, что сказывается на увеличении степени ее тетрагональности. Структуру стали (мартенсит), образующуюся в результате закалки и представляющую собой пересыщенный тетрагональный α -твердый раствор, следует считать неравновесной, поскольку предельная растворимость углерода в α -модификации железа оказывается превышенной.

Если закаленную сталь, имеющую структуру мартенсита, нагревать до температур, не превышающих критической точки $A_1 = 723^\circ\text{C}$, то благодаря увеличивающейся при нагреве подвижности атомов углерода избыточное их количество получает возможность выйти из тетрагональной решетки мартенсита. По мере выхода атомов углеродов тетрагональность решетки твердого раствора уменьшается, и она будет приближаться к кубической решетке феррита. Вышедшие из решетки атомы углерода будут образовывать цементитные частицы. Все эти процессы находятся в основе структурных превращений, происходящих в стали при отпуске. *Отпуск стали* может привести к переходу неравновесной структуры мартенсита в равновесную ферритно-цементитную смесь. Естественно, что если в стали данного состава равновесная структура ферритно-цементитной смеси образуется при какой-то (обычно достаточно высокой, порядка $600\text{--}700^\circ\text{C}$) температуре t_1 , то при температурах отпуска ниже t_1 имеет место образование промежуточных между мартенситом и равновесной ферритно-цементитной смесью структур. Эти структуры также неравновесные, но степень этой неравновесности меньше, чем у мартенсита.

Неравновесные структуры стали. Мартенсит является структурой закаленной стали, образующейся в результате бездиффузионных полиморфных превращений, приводящих к получению пересыщенного и в связи с этим искаженного твердого раствора углерода в α -модификации железа. Эти искажения связаны с образованием неравновесной тетрагональной объемноцентрированной решетки. При рассмотрении структуры закаленной стали под микроскопом мартенсит имеет специфичную игольчатую форму (фиг. 13); мартенсит отличается высокой твердостью ($H_B = 600 \div 650$), малой пластичностью и вязкостью.

Отпуск закаленной стали приводит к распаду мартенситной структуры, связанному с выходом атомов углерода из пересыщенного тетрагонального α -твердого раствора. По мере повышения температуры отпуска снятие искажений решетки происходит все более интенсивно, а вышедшие из решетки атомы углерода образуют все более крупные частички цементита. Этим определяется тип получающихся при отпуске структур.

Так, в углеродистой стали при относительно невысоких температурах отпуска (350—400°C) вышедшие из решетки феррита атомы углерода не обладают благодаря малой степени нагрева большой подвижностью и не способны к перемещению на значительные расстояния. Это предопределяет весьма малый размер образующихся карбидных частиц и тесную связь их с ферритной составляющей стали. Получающаяся при таком отпуске структура называется *трооститом* (фиг. 14) и может быть определена как высокодисперсная смесь феррита и цементита, образующаяся при невысоких температурах отпуска закаленной стали.

Дальнейшее повышение температур отпуска (для углеродистой стали 500—550° С) связано с некоторым укрупнением цементитных частиц за счет большей подвижности выделяющихся из решетки атомов углерода; эта большая подвижность определяется, естественно, более высокой температурой отпуска. Получающаяся при этом отпуске структура носит название *сорбита* (фиг. 15).

Сорбит является дисперсной смесью феррита и цементита; степень дисперсности смеси этих фаз несколько меньше, чем в трооститной структуре, но гораздо выше, чем в перлитной.

Повышение температуры отпуска углеродистой стали сверх 550° С приводит к еще большей дифференциации структуры, смесь феррита и цементита становится еще менее дисперсной, и после отпуска на 600—650° С получает уже описанную ранее структуру перлита (зернистого).

Диаграмма изотермического превращения аустенита. Эвтектоидное превращение аустенита в перлит или перлита в аустенит носит кристаллизационный характер, т. е. связано с зарождением центров новой фазы под влиянием атомных флуктуаций в кристаллической решетке твердого раствора и ростом зародышей, достигших критической величины.

При температуре $A_1 = 723^\circ \text{C}$ в решетке аустенита вполне вероятно образование флуктуаций углерода, которые могут служить зародышем цементита. Однако при этой относительно высокой температуре, когда интенсивно идут процессы самодиффузии, образование флуктуаций равновероятно их распаду. Поэтому $A_1 = 723^\circ \text{C}$ есть температура дина-

мического равновесия между перлитом и аустенитом.

Переохлаждение аустенита ниже $A_1 = 723^\circ \text{C}$ связано с большей устойчивостью флуктуаций (меньше самодиффузия в твердом растворе), а также и с большей вероятностью образования флуктуаций, так как с увеличением степени переохлаждения все с большей интенсивностью протекает $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращение.

С другой стороны, для образования устойчивой частицы новой фазы необходимо диффузионное соединение элементарных зародышей до зародыша критической величины, диффузия же падает с понижением температуры.

Таким образом, с увеличением степени переохлаждения вероятность образования флуктуаций и их устойчивость увеличиваются, а диффузия флуктуаций падает. Это определяет экстремальный характер зависимости числа центров новой фазы от степени переохлаждения.

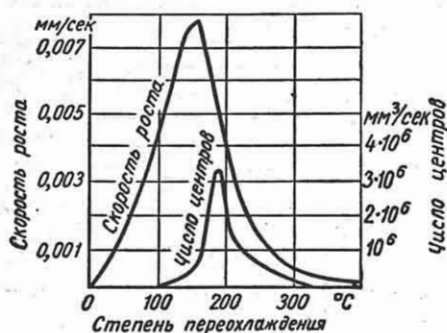
Зависимость скорости роста частиц новой фазы от степени переохлаждения также выражается кривой максимумом: с одной стороны, переохлаждение способствует выделению скрытой теплоты кристаллизации и росту частиц, с другой стороны, с развитием процесса кристаллизации наблюдается столкновение различных зерен, начавших расти из разных точек, что препятствует свободному росту каждого отдельного зерна.

Экспериментальные кривые зависимости от степени переохлаждения числа центров и скорости роста эвтектоидной реакции стали У8 приведены на фиг. 16 (И. Л. Миркин).

Кинетика кристаллизационного процесса превращения аустенита в феррито-цементитную смесь исследуется путем построения кривых, аналогичных изображенной на фиг. 17. Различаются три стадии процесса: а) начальный период, в котором скорость превращения очень мала; б) период, в котором максимальная скорость отвечает тому моменту времени, когда превратилось около 50% аустенита; в) заключительный период, когда процесс идет с замедляющейся скоростью и заканчивается полным исчезновением исходной фазы — аустенита.

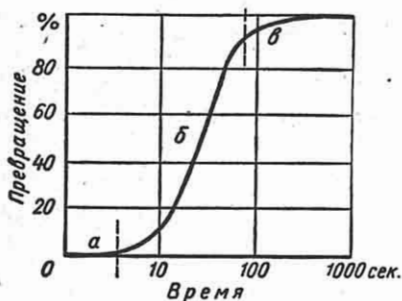
Так как с увеличением степени переохлаждения вначале увеличиваются и число центров, и скорость роста зародышей новой фазы (фиг. 16), то, следовательно, увеличивается скорость

эвтектоидного превращения, что приводит к сдвигу кинетических кривых



Фиг. 16. Кривые изменения числа центров кристаллизации и скорости роста в зависимости от степени переохлаждения; превращение аустенита в перлит; эвтектоидная сталь (0,80% C).

фиг. 17 ближе к оси ординат. Однако при значительных переохлаждениях, когда переходят за максимум кривых на фиг. 16, превращение затухает — кривые фиг. 17 сдвигаются вправо от оси ординат.



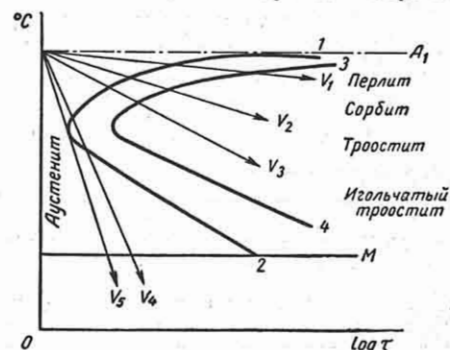
Фиг. 17. Кинетическая кривая превращения аустенита в перлит при постоянной температуре.

Строя сводный график кинетики изотермического превращения аустенита в координатах температура — время, получаем диаграмму, изображенную на фиг. 18. Такие изотермические диаграммы строятся для каждой применяемой в промышленности марки стали.

Линия 1—2 отвечает условиям, определяющим начало превращения аустенита; левее этой линии аустенитная структура при заданных температурах и выдержках будет устойчива. Линия 3—4 отвечает условиям, при которых заканчивается процесс превращения аустенита в ферритно-цементитную смесь.

Чем ниже температура, при которой происходит превращение аустенита, тем выше степень дисперсности образующейся ферритно-цементитной смеси; на изотермической диаграмме нанесены структуры, образующиеся в результате превращения аустенита при различных степенях переохлаждения. Линия М отвечает бездиффузионному превращению аустенита.

На диаграмму изотермического превращения в выбранной системе координат можно нанести кривые скорости



Фиг. 18. Диаграмма изотермического превращения переохлажденного аустенита; на диаграмму нанесены различные скорости непрерывного охлаждения.

непрерывного охлаждения стали v_1, v_2, v_3, v_4 и т. д.

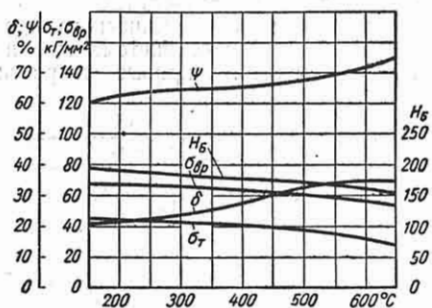
Скорость охлаждения v_4 будет отвечать непосредственному бездиффузионному переходу всего аустенита в мартенсит и является критической скоростью закалки.

Применяя увеличивающиеся скорости охлаждения v_1, v_2 или v_3 в результате превращения аустенита при меньших или больших степенях переохлаждения, получают структуры перлита, сорбита или троостита. Как видно, это те же структуры, что и полученные в результате двойной обработки — закалки и отпуска на различные температуры. Однако на практике предпочитают проводить двойную обработку, так как сорбит и троостит, полученные при отпуске в результате распада мартенсита, имеют специфичное зернистое строение и более высокие пластические и особенно вязкие свойства, чем сорбит и троостит, полученные в результате непрерывного охлаждения, имеющие пластинчатое строение и пониженные вязкие и пластические свойства.

Влияние термической обработки на свойства углеродистой стали. Наиболее эффективное изменение механических свойств стали достигается в результате двойной обработки: закалки и отпуска.

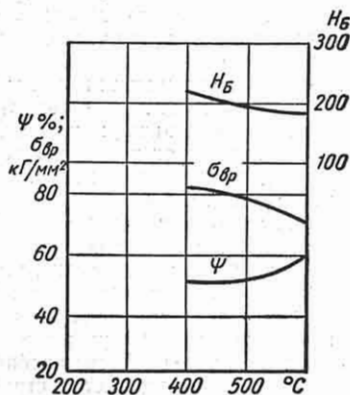
Искаженное кристаллическое строение мартенсита, образовавшегося в результате закалки стали, связано с наличием значительных внутренних напряже-

выбирая ту или иную температуру отпуска, можно получить требуемый по условиям эксплуатации комплекс



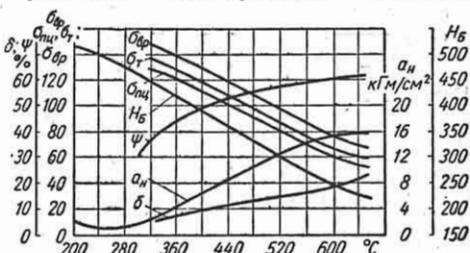
Фиг. 19. Изменение механических свойств стали 20 в зависимости от температуры отпуска.

ний. Эти напряжения в свою очередь приводят к высокой твердости и почти полному отсутствию пластичности и вязкости. По мере снятия искажений кристаллического строения пластичность и вязкость стали растут, но при этом несколько снижаются твердость и прочность. Чем выше температура отпуска закаленной стали, тем в большей мере снимаются искажения и структура приближается к равновесной. Эти процессы



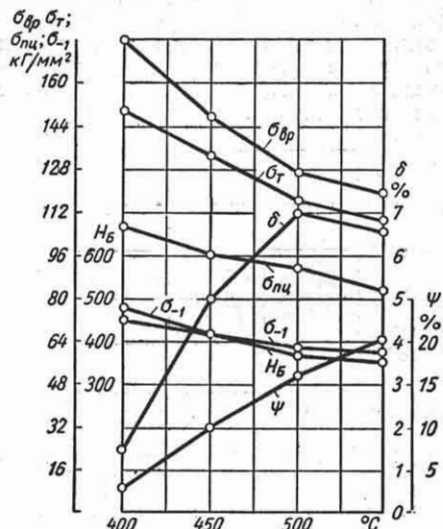
Фиг. 20. Изменение механических свойств стали 35 в зависимости от температуры отпуска.

ведут к постепенному падению значений твердости и прочности и увеличению пластичности и вязкости. Таким образом,



Фиг. 21. Изменение механических свойств стали 45 в зависимости от температуры отпуска.

свойств твердости, прочности, пластичности и вязкости. Наглядно влияние термической обработки на свойства некоторых марок углеродистой стали представлено на фиг. 19—22.



Фиг. 22. Изменение механических свойств стали 60 в зависимости от температуры отпуска.

Большинство деталей машин и механизмов обрабатывают на сорбитную структуру (отпуск при температуре 500—600° С), сообщающую стали достаточную прочность при высоких значениях пластичности и вязкости; термическая обработка, состоящая из закалки и высотемпературного отпуска при 500—650° С, получила название улучшения.

Операции отжига и нормализации применяются обычно для обработки стальных заготовок.

Свойства, получаемые после отжига или нормализации, указаны ниже.

Прокаливаемость стали. Свойства деталей во многом определяются однородным строением их по всему сечению, которое в свою очередь зависит от предварительной сквозной закалки стали на мартенсит. Возможность получения сквозной закалки зависит от прокаливаемости стали — глубины проникновения закаленного слоя.

Метод определения прокаливаемости стали рекомендован ГОСТ 5657-51 (см. выше, гл. II).

Наклеп и рекристаллизация

Наклеп, или изменение структуры стали под влиянием холодной деформации, повышает прочность и снижает пластичность металла. Энергия, затраченная на проведение холодной деформации, больше энергии, которая выделяется в процессе самого деформирования (например, в виде тепла). Это означает, что часть энергии накапливается в металле. Рентгеноструктурным и микроскопическим анализами показано, что эта энергия расходуется на искажения кристаллической решетки, на сдвиги внутри зерна, на увеличение объема стали, на вытягивание зерен вдоль направления деформации — образование текстуры (см. фиг. 23 на вклейке). Сталь в наклепанном состоянии имеет повышенную прочность и пониженную пластичность, что связано с образованием искажений в кристаллической решетке или иначе с заклиниванием возможных для пластической деформации плоскостей сдвига.

Однако такое состояние стали после наклепа с термодинамической точки зрения является неустойчивым. Это приводит к тому, что в наклепанном металле самопроизвольно в процессе вылеживания протекают изменения, связанные со снятием искажений кристаллического строения. Но так как эти изменения связаны с атомными перемещениями в твердом кристаллическом теле, то при комнатной температуре они идут с очень малой скоростью; при нагреве скорость этих изменений увеличивается. Вначале при незначительном повышении температуры (обычно на 200—240° С) развиваются только те процессы, которые вызывают уменьшение искажений кристаллической решетки, но не связаны с заметными измене-

ниями микроструктуры. Эти процессы характеризуют явление возврата или отдыха наклепанной стали*.

При дальнейшем повышении температуры, когда достигается равенство энергетических уровней на границах зерен и внутри зерна, интенсивно начинается процесс перестройки вытянутых вдоль направления деформации зерен наклепанной стали в равновесные, более крупные зерна, т. е. рекристаллизация, сопровождающаяся значительным падением прочности и повышением пластичности металла.

Наклеп широко используется в технике для упрочнения стальных изделий (см. т. 5, гл. VIII).

ЛЕГИРОВАННАЯ СТАЛЬ

При производстве легированной стали, выплавляемой, как правило, в электрических и мартеновских печах, вводят разнообразные легирующие материалы, в качестве которых используют ферросплавы, лигатуры и реже технически чистые металлы. Основными легирующими элементами в стали являются хром, никель, молибден, вольфрам, ванадий, титан, ниобий, кобальт, марганец, кремний, медь, бор, магний.

Если атомный объем легирующего элемента, тип и параметр его кристаллической решетки подобны строению основного элемента стали — железа, следует ожидать образования твердых растворов с широкими границами концентрации растворенного легирующего элемента.

Легирующие элементы могут образовывать с основой стали или с другими присутствующими в сплаве элементами особые химические соединения, существующие в широкой области концентраций. Такие интерметаллидные, карбидные и нитридные соединения в стали обладают высокой твердостью и прочностью, химической стойкостью, жароупорностью, жаропрочностью и т. д.

* В промышленных марках стали, в частности в низкоуглеродистой стали, на процесс возврата накладываются явления старения. Поэтому вместо ожидаемого в данном случае падения твердости при возврате за счет структурных изменений (выпадения междисперсных частиц цементита, нитридов и других фаз) при старении происходит некоторое повышение твердости. Явление старения может наблюдаться также и при вылеживании холоднодеформированной стали при комнатной температуре (так называемое естественное старение холоднодеформированной стали).

Влияние легирующих элементов на свойства стали

| Элемент | Температура закалки, нормализации и отжига в °С | Величина зерна | Склонность к перегреву | Прокаливаемость | Прочность | Пластичность | Сопротивление окислению при нагреве | Прочность при высоких температурах |
|---------|----------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Mn | Понижает | Несколько увеличивает | Несколько увеличивает | Сильно повышает | Повышает наиболее заметно в низко- и среднеуглеродистой стали В высокоуглеродистой стали влияние незначительно | При содержании Mn до 2% пластичность низко- и среднеуглеродистой стали не снижается, в высокоуглеродистой стали снижается | Практически не изменяет | Практически не изменяет |
| Ni | Понижает | Мало влияет | Не изменяет | Сильно повышает | В низко- и среднеуглеродистых сталях перлитного класса повышается | Пластичность незначительно снижается в низко- и среднеуглеродистых сталях перлитного класса и сильно снижается в сталях мартенситного класса Пластичность сталей аустенитного класса повышается Ударная вязкость конструктивных никелевых сталей перлитного класса после термической обработки выше, чем других сталей | Повышает | Повышает, особенно при наличии аустенитной структуры |
| Cr | В доэвтектоидной стали понижает, а в заэвтектоидной — повышает | Уменьшает | Уменьшает | Повышает | Повышает, особенно после термической обработки | Пластичность сталей перлитного класса мало снижается Ударная вязкость мало- и среднеуглеродистой стали минимальная при 2,5% Cr | Повышает, особенно при высоком содержании | Повышает |
| Si | Повышает | Мало влияет | Мало влияет, но способствует обезуглероживанию | Повышает | Повышает | Мало изменяет при содержании до 2,5% при большем содержании резко снижает | Повышает | Несколько повышает |
| V | Повышает | Сильно уменьшает | Уменьшает | Повышает при условии растворения при температуре закалки | Повышает | В сталях перлитного класса незначительно уменьшается Ударная вязкость после термической обработки стали перлитного класса более высокая, чем углеродистой при равной прочности | Понижает | Повышает до 400—600°С, а при более высокой температуре не влияет |

| | | | | | | | | |
|----|----------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------|
| Mo | Повышает | Сильно уменьшает | Уменьшает, но способствует обезуглероживанию | Повышает при условии растворения при температуре закалки | Повышает | В сталях перлитного класса понижает. Однако после термической обработки это снижение очень мало, а ударная вязкость выше, чем у других сталей, при равной прочности | Понижает | Заметно повышает |
| W | Повышает | Уменьшает | Уменьшает, но при длительном нагреве происходит карбидное превращение и закаляемость падает | Повышает при условии растворения при температуре закалки | Повышает | В сталях перлитного класса понижает. Ударная вязкость после термической обработки выше, чем в стали без вольфрама | Мало влияет | Повышает |
| Ti | Повышает | Сильно уменьшает | Уменьшает | Мало влияет | Мало влияет | Несколько повышает вязкость | Повышает | Слабо влияет, но оказывается полезным в сталях сложного состава |

Присутствуя в достаточном количестве и будучи равномерно распределенными по всему объему твердого раствора, эти соединения воздействуют на основу легированной стали и придают ей необходимый для успешной эксплуатации комплекс свойств.

Влияние легирующих элементов на положение критических точек полиморфного превращения твердых растворов в стали определяет те изменения свойств, которые можно получить термической обработкой легированных сталей. Некоторые основные сведения о влиянии легирующих элементов на свойства стали приведены в табл. 1.

Легирующие элементы, вводимые в сталь, можно разбить на следующие три группы:

1. Элементы, образующие с железом твердые растворы с высокими значениями прочности, температур рекристаллизации и плавления, а также затрудняющие протекание диффузионных процессов в стали (никель, марганец, хром, молибден, вольфрам и др.).

2. Элементы, образующие в стали соединения, обладающие прочной кристаллической решеткой, высокой температурой плавления, высокой твердостью, ограниченной и меняющейся с температурой растворимостью в легированном твердом растворе на базе железа (хром, молибден, вольфрам, ванадий, титан, ниобий и др.).

3. Элементы, придающие стали специальные физико-химические свойства — коррозионную стойкость, особые магнитные характеристики, заданные коэффициенты термического расширения, неизменность упругих свойств и т. д. (хром, алюминий, никель, кобальт и др.).

Легирующие элементы, обладающие большим атомным объемом, находятся в стали в свободном состоянии и не образуют ни твердых растворов, ни химических соединений (свинец).

При выплавке легированной стали применяются наиболее часто ферросплавы, так как это экономически более выгодно, чем использование чистых металлических элементов. Введение в сталь при выплавке различных лигатур позволяет преодолеть ряд технологических трудностей, связанных либо с большой разницей в температурах плавления или в удельных весах компонентов, либо с особыми свойствами сплавляемых элементов (возгораемость магния, окисляемость алюминия).

Применяемые в производстве ферросплавы и лигатура должны быть свободны от вредных примесей и посторонних элементов, ухудшающих качество готового продукта.

Краткая характеристика влияния легирующих элементов на свойства стали

Н и к е л ь расширяет на диаграмме состояния область существования твердого раствора на базе γ -модификации железа. При 28% Ni точка A_3 понижается до температуры 20° С; при 36% Ni даже переохлаждение до -183° С не приводит к полиморфному превращению твердых растворов на базе γ - и α -железа. Являясь графитообразующим элементом, никель находится в твердом растворе в феррите, значительно упрочняя его без заметного снижения вязкости. Никель уменьшает растворимость углерода в аустените, понижает и сдвигает влево точку перлитного эвтектичного превращения, способствует переохлаждению аустенита. Никелевая машиностроительная сталь обладает после термообработки тонкой структурой, позволяющей получить при повышенной прочности высокие свойства пластичности и вязкости. Повышая устойчивость аустенита, никель при повышении его содержания действует в том же направлении, что и увеличение скорости охлаждения; это приводит к увеличению прокаливаемости за счет снижения критической скорости закалки и определяет применение никелевой машиностроительной стали для массивных деталей. Уменьшение склонности к росту зерна и нечувствительность к отпускной хрупкости являются преимуществами легированной стали, содержащей никель.

Машиностроительная никелевая сталь характеризуется, кроме того, сохранением вязкости при температурах ниже 0° С (до -60° , -80° С), плавным распределением углерода в цементованном слое и рядом других ценных свойств, предопределяющих использование никелевой стали для изготовления многих ответственных деталей машин и механизмов.

Однако, несмотря на высокие механические и технологические свойства, машиностроительная никелевая сталь имеет сравнительно небольшое распространение ввиду дороговизны никеля.

В присутствии некоторых других элементов (в частности, хрома) благоприятное действие никеля на сталь проявляется значительно сильнее. Так, в хромоникелевой стали при добавлении 0,5—0,8% Сг можно в 2 раза снизить содержание никеля при сохранении тех же свойств прочности, пластичности, вязкости, прокаливаемости и др.

Особо сильное влияние оказывает никель на химические и физические свойства стали (см. табл. 32 и 45). Никелевая сталь, содержащая 12—20% Ni, устойчива против разъедания в органических кислотах и слабых щелочах; никелевая сталь, содержащая 5% Ni, более устойчива против коррозии в пресной и морской воде, чем углеродистая сталь.

Аустенитная никелевая сталь, содержащая 0,2% С и 25% Ni, является немагнитной и достаточно прочной при одновременном сохранении высоких значений вязкости. Немагнитная никелевая сталь применяется в приборостроении (для корпусов компасов) и в кораблестроении (немагнитная броня), для защиты магнитоэлектрических приборов от воздействия окружающих ферромагнитных масс. Сплав железа с 36% никеля, обладая сильно искаженной кристаллической решеткой, имеет очень малый (близкий к нулю) и неизменяемый в интервале температур от -150 до $+100^\circ$ С коэффициент линейного термического расширения. Такой сплав, называемый инваром, нашел применение для изготовления эталонных мерительных и геодезических приборов.

При содержании 45—48% никеля коэффициент линейного термического расширения железоникелевого сплава (называемого платинитом) равен коэффициенту линейного термического расширения платины и стекла. Платинит употребляется для изготовления контактов, впаяваемых в стеклянную аппаратуру.

Сплавы с 29 и 45% никеля не меняют своих упругих свойств при нагревании; промышленный сплав этого типа, называемый элинваром, содержащий 34—37% никеля и 7—13% хрома, получил распространение для изготовления вибраторов, камертонов, часовых пружин, балансиров хронометров и тому подобных деталей.

Значительное влияние оказывает никель и на магнитные свойства железа: сплавы с 28 и 82% никеля не имеют

магнетострикции; сплавы с 20 и 50% никеля имеют наибольшую магнетострикцию; сплав с 78,5% никеля (пермаллой) имеет чрезвычайно высокую магнитную проницаемость и малую начальную намагничиваемость (намагничивается при вращении в поле земного магнетизма).

Марганец расширяет на диаграмме состояния область твердых растворов на базе γ -модификации железа. При содержании марганца более 15% сплавы находятся в аустенитном состоянии при температуре 20° С. Образующийся в стали карбид марганца непрочен и подобен цементиту; чаще всего в марганцовистой стали присутствует комплексный железомарганцевый карбид цементитного типа. Марганец в карбидах и в твердом растворе распределен в отношении 1 : 4. Марганец сдвигает перлитную (эвтектондную) точку *S* на диаграмме состояний влево; каждый процент марганца понижает концентрацию углерода в перлите на 0,05—0,06%. В стали с 12% марганца перлит содержит только 0,3% углерода.

Велико влияние марганца на повышение устойчивости аустенита и увеличение степени его переохлаждения; это приводит к тому, что марганец резко уменьшает критическую скорость закалки.

Машиностроительная марганцовистая сталь содержит 0,1—0,7% углерода и 1—2% марганца (см. табл. 5, 6, 25, 28). Преимущество марганцовистой стали перед обычной углеродистой состоит в увеличенной прокаливаемости, увеличенной прочности и пониженной критической скорости закалки. Недостатками марганцовистой средне- и высокоуглеродистой машиностроительной стали является значительная склонность к росту зерен и снижению пластических и вязких свойств при упрочнении сплава. Улучшаемая марганцевая сталь марок 30Г, 30Г2, 40Г, 40Г2 и 50Г подвергается закалке с температуры $A_{c3} + (40 \div \pm 50^\circ)$ и отпуску в интервале температур 450—650° С. После такой обработки сталь приобретает повышенную прочность, хорошую вязкость и высокое сопротивление износу; употребляется для изготовления осей, коленчатых валов, шатунов, червяков и т. д. Сталь марки 50Г2 после закалки и отпуска на троостосорбитную структуру приобретает высокие предел упругости и предел усталости, что предопределяет использование этой стали для изготовления рессор и пружин.

Высокомарганцовистая аустенитная сталь (см. табл. 30), содержащая 10—15% марганца и 1—1,4% углерода после закалки с температуры 1000—1050° С в воде, имеет вязкую аустенитную структуру. Характерной особенностью этой стали является сочетание свойств высокого сопротивления истиранию (при больших давлениях на трущихся поверхностях) и хорошего сопротивления ударным нагрузкам. Высокое сопротивление износу марганцовистого аустенита объясняется его большой склонностью к упрочнению под влиянием наклепа и превращением аустенита в мартенсит под влиянием деформации. Образующийся весьма твердый поверхностный слой хорошо сопротивляется истиранию, тогда как сохраняющаяся вязкая аустенитная сердцевина успешно противостоит ударным нагрузкам. Обладая в несколько раз более высоким сопротивлением истиранию, чем углеродистая сталь, высокомарганцовистая аустенитная сталь применяется для изготовления щек камнедробилок, деталей шаровых мельниц, траков тракторов, крестовин и стыков железнодорожных путей и т. п.

Хром до 7% снижает критические точки A_1 и A_2 , а свыше 7% способствует суживанию на диаграмме состояний области твердых растворов на базе γ -железа, замыкая эту область полностью при 12,8% Cr. Хром образует с железом твердые растворы и интерметаллическое соединение, которое появляется в сплаве при содержании хрома свыше 30%, — так называемая σ -фаза. Будучи сильным карбидообразующим элементом, хром дает карбиды с тригональной и кубической решеткой, которые прочнее и устойчивее цементита.

Успешное применение хромистых конструкционных и инструментальных марок стали (см. табл. 6, 23, 36—39) связано в первую очередь с тем, что хром, увеличивая устойчивость аустенита, повышает прокаливаемость, способствует получению высокой и равномерной твердости, износостойкой поверхности и повышает устойчивость стали против отпуска.

Основным недостатком хромистой стали является ее склонность к отпускной хрупкости.

Упрочняющее действие комплексных карбидов хрома используется во многих марках легированной инструментальной стали.

Широкое распространение в технике нашли стали, легированные одновременно хромом и другими элементами.

Хромоникелевая конструкционная сталь, имеющая широкое применение в промышленности (см. табл. 7 и 8), представляет собой пример удачного сочетания влияния различных легирующих элементов на структуру и свойства стали. Отличительной особенностью хромоникелевых марок стали является их высокая прокаливаемость, способность к значительному упрочнению под влиянием термической и химико-термической обработки при сохранении высокого уровня свойств пластичности и вязкости.

Хромоникелевые стали чаще всего используются в качестве материала для изготовления деталей машин, подвергаемых термическому улучшению. Стали, содержащие 0,8—1,2% Cr и 3,0—3,5% Ni, закаливаются обычно в масле; при содержании 1,2—1,6% Cr и 4,0—4,5% Ni возможно осуществить закалку при охлаждении на воздухе, что оказывается весьма благоприятным для качества изделий: уменьшаются внутренние напряжения и коробление. Улучшаемые хромоникелевые стали марок 30ХН, 40ХН, 30ХНЗ и 40ХНЗ используются для изготовления высоконагруженных штифтов и шпонок, болтов шатуна, коленчатых валов, полуосей, шлицевых валков, звеньев цепных передач, для изготовления массивных труднопрокаливаемых деталей тяжелого машиностроения. Широкое применение получили также цементуемые марки хромоникелевой стали. В этом случае совместное присутствие хрома и никеля предопределяет высокие эксплуатационные свойства цементованных изделий за счет большой твердости и износостойкости цементованного слоя, в котором присутствуют карбиды хрома, и высокой вязкости, мелкозернистости и прокаливаемости сердцевины под влиянием присутствующего в стали никеля. Цементуемые хромоникелевые стали марок 20ХН, 12ХНЗ, 12Х2Н4 используются для изготовления шестерен автомобильных и авиационных моторов, пальцев, распределительных и кулачковых валков, червячных колес и других деталей моторостроения, подвергаемых цементации. Недостатком хромоникелевой стали является ее склонность к отпускной хрупкости.

Широкое практическое использование

получили многочисленные марки так называемой низколегированной стали, относящейся к классам машиностроительной и строительной стали и содержащей в сумме 4—5% легирующих элементов. Одним из основных элементов таких сталей является хром.

Низколегированные конструкционные стали для машиностроения (см. табл. 6) изготавливаются чаще всего в виде поковок или штамповок и подвергаются термической обработке; по характеру применяемой термической обработки машиностроительная низколегированная сталь делится на цементуемую (с содержанием до 0,25% С) и улучшаемую (0,3—0,6% С).

В результате рационального легирования небольшими добавками ряда элементов добиваются значительного улучшения служебных и технологических характеристик низколегированной стали по сравнению с обычной углеродистой сталью: повышаются механические свойства (прочность, пластичность и вязкость), увеличивается прокаливаемость, уменьшаются внутренние напряжения и коробление в результате применения более мягкой закалочной среды, повышается упругость, улучшаются эксплуатационные качества в условиях сложноподвижного состояния и т. д.

В СССР нашли применение хромомолибденовые, хромомарганцевые, хромованадиевые марки машиностроительной низколегированной стали, легированные двумя элементами.

Кроме того, для обеспечения надежнейшей эксплуатационной стойкости высоконагруженных узлов и деталей нашими стандартами предусмотрены низколегированные стали, легированные тремя элементами. К этим маркам относятся хромомарганцевотитановые, хромомарганцевомолибденовые, хромомарганцевокремнистые (хромансиль), хромокремнемолибденовые и др.

Строительная легированная сталь (см. табл. 4) содержит обычно в сумме до 2,5% легирующих элементов и характеризуется достаточной прочностью, свариваемостью, повышенным сопротивлением коррозии и устойчивостью свойств во времени.

Особый интерес представляет использование природнолегированного чугуна (полученного, например, из Халиловского рудного месторождения) для изготовления строительной низколегированной хромоникелевой стали.

При введении в состав стали значительных количеств хрома — в пределах от 5 до 30% — сталь приобретает особые физические свойства: высокое сопротивление окислению при комнатных и повышенных температурах (нержавеющие и жароупорные марки стали), высокое сопротивление разьедающему действию химически активных веществ (кислотоупорные марки стали). Эти свойства особенно усиливаются при комплексном легировании стали хромом в сочетании с никелем, кремнием, молибденом или алюминием.

Коррозионная стойкость нержавеющей стали определяется ее химическим составом, структурой, наличием поверхностной защитной (пассивирующей) пленки и характером этой пленки. Главным из перечисленных факторов является химический состав нержавеющей стали, который должен обеспечить:

1) образование защитной пленки, обладающей: а) достаточной толщиной, определяющей параболический (затухающий) характер скорости роста пленки; б) большой плотностью с тем, чтобы реагент не мог проникнуть к металлу через поры в пленке; в) особым (сложным) внутренним строением, препятствующим интенсивному прохождению двусторонней диффузии атомов кислорода из внешней среды в глубь металла и атомов металла на поверхность пленки, а также обеспечивающим химическую пассивность пленки относительно внешней среды; г) большой прочностью и пластичностью, позволяющими пленке успешно сопротивляться внешним силам без разрушения; д) хорошей сцепляемостью с основным металлом, препятствующей отслаиванию пленки;

2) отсутствие термических и фазовых превращений, могущих вызвать микроскопические трещины, разрушающие защитную пленку;

3) однородность внутреннего строения для предотвращения возникновения начальных электродных потенциалов между различными структурными составляющими. Чаще всего деление на анодные и катодные участки происходит в наиболее напряженных участках сплава (на границах зерен) и приводит к развитию интеркристаллитной коррозии.

Элементами, способствующими образованию на поверхности стальных изделий, сплошной, плотной и прочной

защитной пленки, являются хром, алюминий, кремний, никель. Отсюда промышленностью производятся хромистые и хромоникелевые, хромокремнистые и хромоалюминиевые марки нержавеющей стали (см. табл. 32—34). Количество легирующих элементов в составе нержавеющей стали выбирают таким, чтобы обеспечить примерно однофазную структуру, определяющую большую коррозионную стойкость; применение ряда специальных добавок (например, титана, ниобия или азота в хромоникелевой аустенитной нержавеющей стали) позволяет резко увеличить сопротивление сплава интеркристаллитной коррозии.

Хромоникелевые и хромокремнистые стали обнаруживают свойства высокой жароупорности. В промышленности получили распространение так называемые силхромы — стали, хорошо сопротивляющиеся окислению при повышенных температурах и одновременно обладающие достаточными жаропрочными свойствами (см. табл. 31 и 33). Силхромы содержат от 6 до 30% хрома и от 2 до 4% кремния, а также добавки молибдена, вольфрама, алюминия или титана. Основное применение силхромов — для изготовления впускных и выпускных клапанов автомобильных и тракторных моторов, для топливной аппаратуры и т. д.

Высокохромистые и хромоникелевые стали, а также силхромы успешно противостоят действию химически активных кислот, щелочей, солей и газов; эти стали применяются в химическом машиностроении для изготовления разнообразной аппаратуры, работающей в тяжелых условиях, при одновременном действии коррозии, высоких температур и давлений.

Вольфрам дает с железом ограниченную растворимость в твердом состоянии: при 1540°C в α -железе растворяется около 30% вольфрама, а при 20°C — 4—5%.

При 6% вольфрама область существования твердых растворов на базе γ -железа замкнута, и сплавы с большим, чем 6% содержанием вольфрама не имеют никаких полиморфных превращений во всем интервале температур от комнатной до температуры плавления.

Вольфрам образует с железом вольфрамиды (Fe_3W при содержании 62,2% W, Fe_3W_2 при 68,7% W), а с

углеродом — весьма прочный и твердый карбид, содержащий 6,1% С, и ряд сложных карбидов со взаимным замещением элементов. Благоприятное влияние вольфрама на структуру и свойства стали состоит: а) в общем снижении скорости всех диффузионных процессов, приводящем к большей устойчивости твердости при отпуске; б) в увеличении твердости стали за счет образования сложных карбидов; в) в уменьшении склонности к росту зерен при термообработке за счет сдерживающего влияния нерастворившихся в твердом растворе устойчивых карбидов. Способствует получению и сохранению высокой твердости, вольфрам нашел широкое применение в производстве инструментальной стали, где требование повышенной твердости является решающим (см. табл. 36—38).

Две марки вольфрамовой инструментальной стали — В1 и В2, содержащие соответственно 0,8—1,2% W, 1,8—2,2% W, 1,05—1,25 и 1,1—1,25% С, после закалки с температуры 800—830° С в масле и отпуска при температуре 180—200° С приобретают твердость $R_C = 64 \div 66$ и используются для изготовления спиральных сверл, метчиков, ножовочных полотен и другого инструмента.

Особое место занимает высоколегированная вольфрамовая сталь, получившая название быстрорежущей (см. табл. 36). Ценные свойства быстрорежущей стали, приобретаемые ею после закалки с температуры 1280—1300° С и отпуска при 550—560° С, определяют ее использование для изготовления инструмента, работающего в тяжелых условиях резания, когда имеет место разогрев режущей кромки до весьма высоких температур (500—600° С).

Молибден образует с железом молибдены, один из которых (Fe_3Mo_2) участвует в процессе дисперсионного твердения, основанном на переменной ограниченной растворимости молибдена в α -железе: при 1440° С растворяется 25% молибдена, при 20° С — 4% молибдена. При 2,5—3,5% молибдена область твердых растворов на базе γ -железа полностью замыкается. Являясь сильным карбидообразующим элементом, молибден дает в стали ряд прочных и твердых карбидов. Широкое применение молибдена в легированной стали объясняется тем, что он оказывает сильное влияние одновременно на свойства твердого раствора и карбидной фазы;

уменьшает склонность к отпускной хрупкости; упрочняет феррит; значительно снижает критическую скорость закалки, что позволяет добиться сквозной прокаливаемости в массивных изделиях даже при добавке всего 0,5—0,8% молибдена; дает равномерную мелкую и зернистую структуру как твердого раствора, так и карбидов, обладающую наряду с большой прочностью также и высокой пластичностью и вязкостью; способствует устойчивости против отпуска и дает вязкий волокнистый излом в изделиях после улучшения.

В промышленности применяются машиностроительные и строительные марки молибденовой стали, содержащие 0,15—0,55% Мо при 0,1—0,45% С. Присадка молибдена сообщает стали свойства повышенной прокаливаемости, улучшает механические свойства и особенно заметно повышает предел ползучести, отсюда основное применение чисто молибденовой стали — в котло-турбостроении (см. табл. 31 и 33). Ценным свойством молибденовой стали является ее нечувствительность к скорости охлаждения при отпуске (отсутствие отпускной хрупкости). Введение в сталь 0,2—0,4% Мо понижает склонность стали к старению при работе котлов и повышает ее прочность и вязкость.

При нагревании молибденовой стали в окислительной атмосфере молибден при повышенном его содержании выгорает; поэтому ее при нагревании нужно особенно тщательно предохранять от окисления.

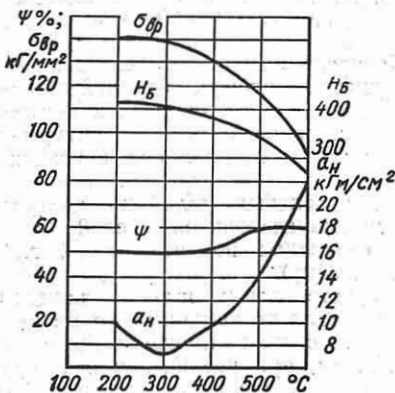
Ванадий суживает область твердых растворов на базе γ -железа и замыкает эту область при 1,1% V. При содержании 29—60% ванадия обнаружена хрупкая парамагнитная σ -фаза эквивалентного состава (FeV). Образуются прочные и твердые карбиды, в которых содержание углерода в 2—2,5 раза больше, чем в цементите, ванадий повышает температуру перлитного превращения и концентрацию углерода в перлите. В применяемых ванадиевых марках стали перлитного класса весь ванадий связан в карбиды, которые, будучи трудно растворимыми, способствуют сохранению мелкозернистой структуры в стали даже при нагреве на весьма высокие температуры. Ванадий сообщает стали устойчивость против снижения твердости при отпуске за счет общего уменьшения скорости диф-

фузионных процессов и, в частности, коагуляции сложных карбидов. Будучи активным раскислителем и дегазатором, ванадий рафинирует сталь и улучшает ее свариваемость за счет связывания углерода в карбиды и газов в оксиды и нитриды.

Весьма сложным составом обладает легированная сталь с особыми физическими свойствами. Кроме перечисленных выше элементов, в состав жаропрочной стали могут входить также титан, ниобий, кобальт, азот, тантал; в состав жароупорной стали — кремний и алюминий; в состав электротехнической стали — кремний. Сплавы для нагревательных элементов (Х13Ю4, 0Х17Ю5, 0Х25Ю5) имеют в своем составе хром и алюминий, сплавы для постоянных магнитов — кобальт, никель, алюминий и титан.

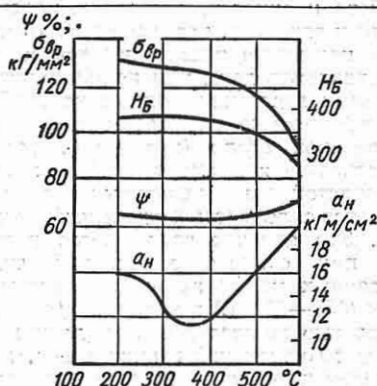
Влияние термической обработки на механические свойства легированной стали

Обладея повышенной прокаливаемостью, более тонким строением, включениями прочных фаз в структуре и рядом других преимуществ, определяемых влиянием легирующих элементов, легированная сталь приобретает после двойной термообработки — закалки и отпуска — более высокие механические свойства, чем углеродистая сталь. Диаграммы на фиг. 24—27

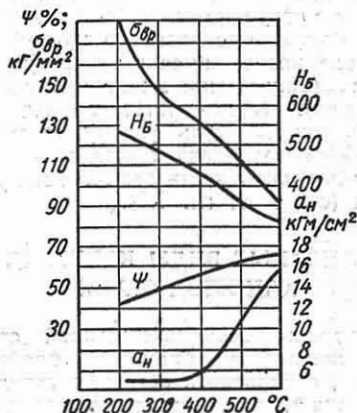


Фиг. 24. Влияние температуры отпуска на механические свойства стали марки 12Х2Н4А (закалка 900° С в масле).

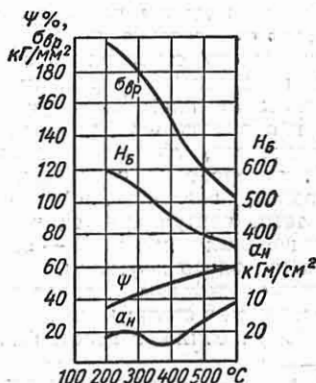
показывают, что при надлежащем выборе условий термической обработки легированной стали можно добиться исключительно высокого комплекса



Фиг. 25. Влияние температуры отпуска на механические свойства стали марки 18ХНМА (закалка 880° С на воздухе).



Фиг. 26. Влияние температуры отпуска на механические свойства стали марки 38ХА (закалка 850° С в масле).



Фиг. 27. Влияние температуры отпуска на механические свойства стали марки 40ХФА (закалка 900° С в масле).

свойств прочности, твердости, пластичности и вязкости, позволяющего обеспечить надежную работу деталей машин и механизмов даже при наличии весьма тяжелых эксплуатационных условий.

Особенностью некоторых марок легированной стали (хромистой, хромоникелевой, хромомарганцевой, хромокремнистой и некоторых других) является склонность к *отпускной хрупкости*. Это явление заключается в том, что при отпуске закаленной стали указанных марок на высокие температуры (450—650° С) в металле протекают полностью не исследованные до сих пор процессы изменений границ зерен, приводящие к резкому (иногда более чем в 10 раз) падению ударной вязкости при практически неизменных других механических характеристиках стали. Мерой борьбы с отпускной хрупкостью является применение ускоренного охлаждения в воде после высокотемпературного отпуска (см. указания в соответствующих таблицах). Кроме того, присадка в легированную сталь указанных марок 0,2—0,4% молибдена также во многом уменьшает склонность к отпускной хрупкости (см. т. 5, гл. XI).

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СТАЛИ

Контроль высококачественной стали предусматривает прокатку пробного слитка, отбираемого обычно в середине разливки*, на квадратную заготовку размером 80—100 мм и вырезку из этой заготовки образцов для различных видов испытаний.

Дальнейшая стадия контроля предусматривает определение характера макроскопического строения в продольном и поперечном направлениях на отобранных от пробного бруска темплетях и образцах. Определяется наличие пористости, ликвации, флокенов, свищей; разбраковка производится по специально разработанной шкале. Кроме того, контролируется распределение вредных примесей — серы и фосфора (проба по Бауману).

Типичные дефекты макростроения, встречающиеся в стали: кованный крест, усадочная раковина, заворот, флокены,

* Для некоторых высоколегированных марок стали ответственного назначения производится прокатка трех пробных слитков, отобранных в начале, середине и конце разливки.

незаварившиеся свищи, подкорковые пузыри и пористость.

В некоторых случаях применяют пробу на осадку, для чего образец, высота которого в 2 раза больше диаметра или толщины, нагревают до температурыковки, а затем осаживают на $\frac{1}{3}$ высоты. Пузыри, свищи и другие дефекты, расположенные вблизи от поверхности, вскрываются.

Следующей операцией является термическая обработка отобранных от пробного бруска заготовок, изготовление образцов и проведение механических испытаний в точном соответствии со стандартами и техническими условиями.

| Группа | Вид излома после закалки в воде с температуры °С | | |
|--------|--------------------------------------------------|-----|-----|
| | 760 | 800 | 840 |
| 0 | | | |
| I | | | |
| II | | | |
| III | | | |
| IV | | | |
| V | | | |

Обозначения:

- Не закаленный
- Вязкая сердцевина*
- Сквозная прокаливаемость
- Перегрев
- Трещины

Фиг. 31. Шкала баллов прокаливаемости инструментальной стали.

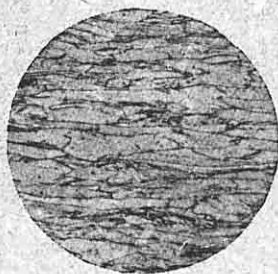
Контроль на наличие волосовин производится методом ступенчатой обточкой.

Заключительной операцией контроля является анализ микроструктуры на травленных и нетравленных образцах — шлифах.

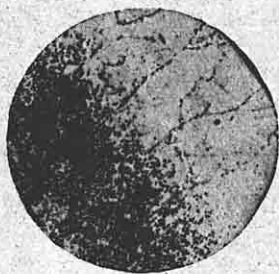
На травленных шлифах контролируют обезуглероженный слой (типичная структура показана на фиг. 28) (см. вклейку).

На нетравленных шлифах контролируют металл по неметаллическим включениям; оценка производится путем сравнения, при увеличении в 100 раз, с эталонной шкалой, приведенной на фиг. 29 (см. вклейку).

После специальной обработки определяется величина зерна в стали по стандартной 8-балльной шкале (фиг. 30). Кроме того, на ряде специальных марок стали — быстрорежущей, шарикоподшипниковой, хромоникелевой, нержа-

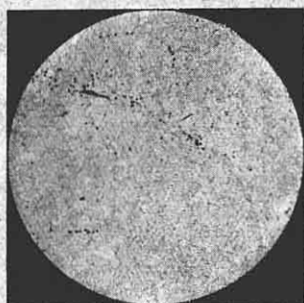


Фиг. 23. Микроструктура холодно-деформированной металлоуглеродистой стали (текстура). $\times 150$.

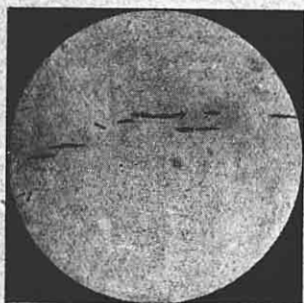


Фиг. 28. Микроструктура поверхностного обезуглероженного слоя. $\times 500$.

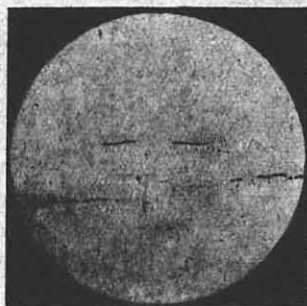
СУЛЬФИДЫ



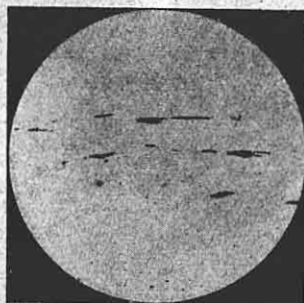
Балл 1.



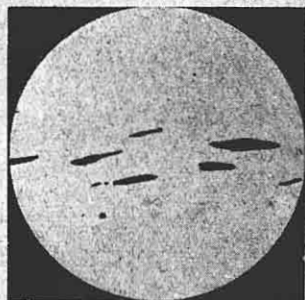
Балл 2.



Балл 3.



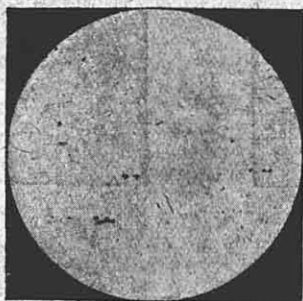
Балл 4.



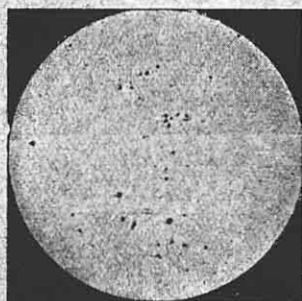
Балл 5.

Фиг. 29. Шкала для оценки неметаллических

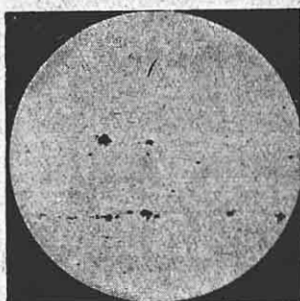
ОКСИДЫ



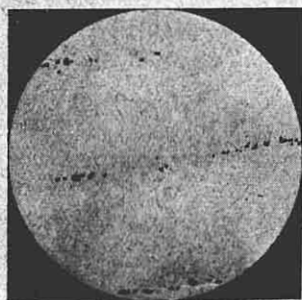
Балл 6.



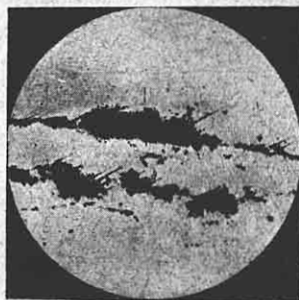
Балл 7.



Балл 8.



Балл 9.

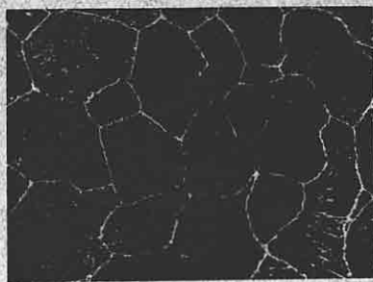


Балл 10.

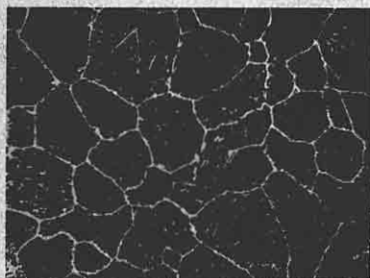
к включений (сульфиды и оксиды).



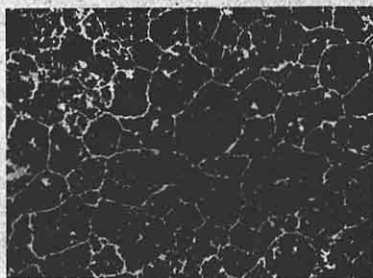
Балл 1.



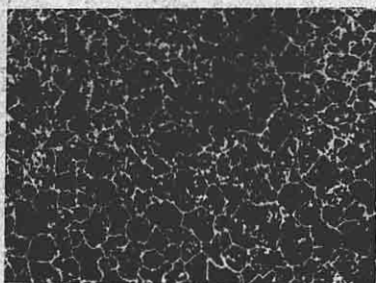
Балл 2.



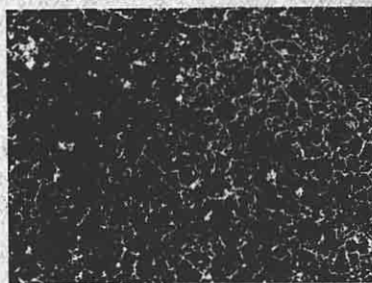
Балл 3.



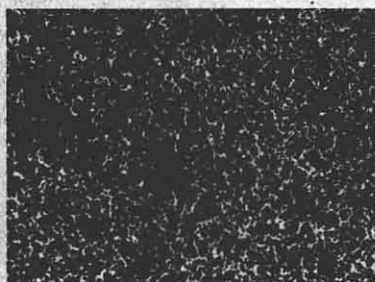
Балл 4.



Балл 5.



Балл 6.



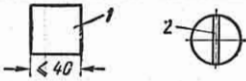
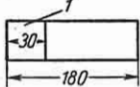
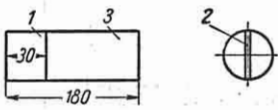
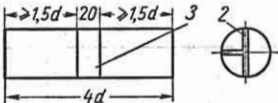
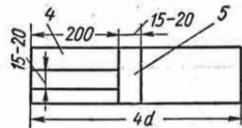


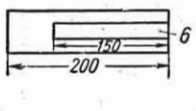
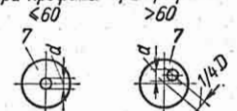
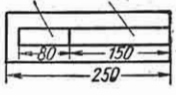

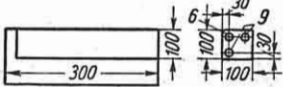
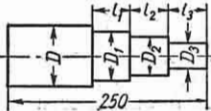
Балл 7.



Балл 8.

Фиг. 30. Шкала для оценки величины зерна в стали. $\times 100$.

Схемы вырезки образцов для контрольных испытаний

| Объекты контроля | Схемы вырезки образцов (размеры в мм) |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Макротемплет с горячего реза |  |
| Макротемплет с холодного реза от края |  |
| Макро-структура и излом Шайба с холодного реза от края для макрошлифа и излома |  |
| Шайба из середины заготовки для контроля на макроструктуру, излом и флокены |  |
| Продольный и поперечный макротемплеты |  |
| Разрывной и ударный образец продольный; разрывной и ударный образец поперечный |   |
| Механические свойства Один разрывной образец |   |
| Один разрывной и один ударный образец |   |
| Один разрывной и четыре ударных образца |  |
| Ступенчатая обточка и строжка |  <p>Соотношение D и l устанавливается ТУ</p> |

| Объекты контроля | | Схемы вырезки образцов (размеры в мм) |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| | Неметаллические включения | |
| Микро-анализ | Обезуглерожженный слой, микроструктура, карбидная сетка, ледебуритная эвтектика | |
| | α -фазы и интеркристаллитная коррозия | |
| <p>Обозначения: 1 — макрошлиф; 2 — надрез глубиной 5 мм; 3 — шайба для излома; 4 — поперечный макрошлиф; 5 — продольный макрошлиф; 6 — 7 — заготовки для разрывного образца; 8 — заготовка для разрывного и ударного образца; 9 — заготовка для ударного образца; 10 — две заготовки для четырех ударных образцов типа Менаже; 11 — образцы для микрошлифов; 12 — продольный шлиф для оценки карбидной ликвации или ледебуритной эвтектики; 13 — поперечный шлиф для оценки микроструктуры и обезуглерожженного слоя; 14 — поперечный шлиф для контроля карбидной сетки (после закалки); 15 — микрошлиф; 16 — образцы для испытания на коррозию.</p> | | |

вещей и др. — определяется карбидная неоднородность (строчечность), характер распределения неметаллических включений, наличие α -фазы и т. д.

Контроль прокаливаемости инструментальной стали проводится по виду излома (см. шкалу на фиг. 31). По пробе на излом судят также о наличии расщелов, шиферности, пористости, трещин, пузырей и других дефектов, встречающихся в стали.

КЛАССИФИКАЦИЯ, СВОЙСТВА И НАЗНАЧЕНИЕ СТАЛИ

Классификация стали [15]

Стали можно классифицировать: 1) по химическому составу, 2) по микроструктуре, 3) по способу производства, 4) по применению.

По химическому составу сталь подразделяется на углеродистую (конструкционную и инструментальную) и легированную (низколегированную, среднелегированную и высоколегированную).

По микроструктуре различают:

1. Перлитный класс — сталь, имеющая после нормализации структуру перлит, перлит + феррит, перлит + заэвтектоидные карбиды (строительные, конструкционные и инструментальные углеродистые и низколегированные стали).

2. Мартенситный класс — сталь со сниженной критической скоростью закалки, имеющая после охлаждения на воздухе мартенситную структуру (высоколегированная конструкционная, инструментальная и некоторые марки нержавеющей стали).

3. Аустенитный класс — сталь, в которой под влиянием легирующих элементов точка полиморфного превращения твердого раствора на базе γ -железа в твердый раствор на базе α -железа находится ниже комнатной температуры; после нормализации структура такой стали состоит обычно из аустенита или аустенита и карбидов (высоколегированная, нержавеющая жароупорная и жаропрочная стали).

4. Ферритный класс — сталь, легирующая элементами, суживающими и замыкающими на диаграмме состояния область существования твердого раствора на базе γ -модификации железа; при определенном содержании этих легирующих элементов сталь после нормализации будет иметь структуру феррита или феррита и карбидов (высокохромистая, нержавеющая, жаропрочная, жароупорная стали).

5. Карбидный класс — сталь с высоким содержанием углерода и карбидообразующих элементов; в литом состоянии в структуре такой стали имеется карбидная эвтектика, в деформированном состоянии — первичные и вторичные карбиды. Типичным примером стали карбидного класса может служить быстрорежущая сталь.

По способу производства различают три класса стали:

а) Сталь обыкновенного качества (или рядовая сталь) — углеродистая сталь с содержанием углерода обычно не более 0,6%; она выплавляется чаще всего в больших мартеновских печах, а также в бессемеровских и томасовских конвертерах и разливаются в сравнительно крупные слитки.

Способ изготовления во многом предопределяет состав, строение и свойства этой стали. Стали обыкновенного качества имеют чаще всего повышенное содержание серы и фосфора, достигающие в мартеновской стали 0,055—0,06% серы и 0,05—0,06% фосфора, а в бессемеровской и в томасовской, 0,065—0,07% серы и 0,08—0,09% фосфора. Ликвация в этой стали часто более значительна, чем в стали остальных классов. Сталь обыкновенного качества имеет также повышенное (по сравнению со сталью следующих классов) количество неметаллических включений. В катаном состоянии сталь характеризуется значительной полосчатостью вдоль направления течения металла. По механическим свойствам рядовая

сталь несколько уступает стали следующих двух классов: стали обыкновенной и стали высококачественной.

По ГОСТ 380-50 стали обыкновенного качества, поставляемые по механическим свойствам (группа А), обозначаются Ст. 0, Ст. 1, Ст. 2, Ст. 3, Ст. 4, Ст. 5, Ст. 6, Ст. 7; поставляемая по химическому составу (группа Б): а) мартеновская — МСт. 0, МСт. 1, МСт. 2, МСт. 4, МСт. 5, МСт. 6, МСт. 7 и б) бессемеровская — БСт. 0, БСт. 3, БСт. 4, БСт. 5, БСт. 6.

б) Сталь качественная — углеродистая или легированная сталь, выплавляемая в основных мартеновских печах с соблюдением более строгих требований к составу шихты, процессам плавки и разливки. Содержание серы и фосфора в качественной стали не должно превышать (в зависимости от марки) 0,04—0,045% каждого из этих сплавов. Количество неметаллических включений меньше, чем в стали обыкновенного качества.

в) Сталь высококачественная — углеродистая или легированная, чаще всего усложненной химического состава. Такая сталь выплавляется в электрических или кислых мартеновских печах, а также основных мартеновских печах небольшого тоннажа. Для высококачественной стали установлены суженные пределы содержания элементов.

Содержание серы и фосфора в высококачественной стали не должно превышать соответственно 0,030 и 0,035% (для некоторых марок стали установлено еще более низкое содержание этих элементов). Эта сталь обладает также повышенной чистотой по неметаллическим включениям. Высококачественная сталь обозначается буквой А, помещаемой после обозначения марки.

По применению различают четыре класса стали:

Класс I — сталь строительная, применяемая для строительных целей. По химическому составу эта сталь — главным образом углеродистая, а по способу производства — сталь обыкновенного качества (рядовая).

Эта сталь, как правило, не подвергается термической обработке (закалке и используется в состоянии, полученном обработкой давлением.

Класс II — сталь конструкционная (или машиностроительная). По химическому составу — это

сталь углеродистая или легированная, по способу производства — качественная или высококачественная

— Большая часть стали этого класса подвергается термической обработке. Для менее ответственных или малонагруженных деталей (болты, клинья, дышла, валы маломощных механизмов и т. д.) применяется также более дешевая сталь обыкновенного качества марок Ст. 4, Ст. 5, Ст. 6 и Ст. 7. Кроме того, применяют стали марок Ст. 2 и Ст. 3, используемые главным образом для строительных целей.

Класс III — сталь инструментальная. По химическому составу — сталь углеродистая и легированная, а по способу производства — качественная и высококачественная и очень редко (для наименее ответственного, например, слесарного инструмента) рядовая сталь.

Инструментальная сталь по содержанию углерода и по структуре главным образом заэвтектоидная сталь и тем самым заметно отличается от строительной и конструкционной стали (дзэвтектоидной стали). Лишь в особых случаях инструментальная сталь применяется в качестве конструкционной для деталей машин специального назначения (шарикоподшипники, пружины). Для инструментов некоторых типов (например, для молотовых штампов) применяется также дзэвтектоидная сталь.

Класс IV — сталь с особыми физическими свойствами. По химическому составу — это легированная сталь, а по способу производства — высококачественная или качественная сталь, требующая отдельных случаев соблюдения специальных условий выплавки (например, в вакууме или в атмосфере инертных газов) и последующей обработки.

В приводимой ниже классификации к этому классу отнесены только стали, физические свойства которых по условиям применения изделий являются преобладающими, а механические свойства имеют подчиненное значение (например, магнитная сталь или сталь с минимальным коэффициентом теплового расширения и т. д.). Те же стали, которые оцениваются как по механическим, так и по физическим или химическим свойствам (например, нержавеющая сталь или сталь устойчивая против ползучести), отнесены ниже к

классу конструкционной стали; но выделены при этом в отдельные группы.

Хотя в некоторых случаях в технике нельзя провести резкую грань между классами строительной, конструкционной и инструментальной стали, однако классификация по применению является более характерной, так как позволяет лучше отметить основные свойства стали различных марок. Поэтому ниже принята классификация по применению.

Стали перечисленных четырех классов приведены по признаку или свойству наиболее характерному для данного класса с распределением по следующим группам:

| Класс стали | Группа стали | № таблицы, в которой приведены характеристики стали |
|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| I. Сталь строительная II. Сталь конструкционная A. Общего назначения | 1. Сталь углеродистая | 2, 3 |
| | 2. Сталь легированная | 4 |
| | 3. Сталь небольшой прокаливаемости | 5 |
| | 4. Сталь средней прокаливаемости | 6 |
| | 5. Сталь повышенной прокаливаемости | 7 |
| | 6. Сталь высокой прокаливаемости | 8 |
| | 7. Сталь для железнодорожного транспорта | 24 |
| | 8. Сталь рессорно-пружинная | 25—28 |
| | 9. Сталь повышенной обрабатываемости резанием | 29 |
| | 10. Сталь износостойчивая | 30 |
| | 11. Сталь для работы под нагрузкой при повышенных температурах | 31 |
| B. Специализированного назначения | 12. Сталь и сплавы на железной основе, устойчивые против коррозии; сталь специализированного назначения | 32 |
| | 13. Сталь для режущего инструмента | 36 |
| | 14. Сталь для инструментов, деформирующий металл в холодном состоянии | 37 |
| | 15. Сталь штамповая, деформирующая металл в горячем состоянии | 38 |
| | 16. Сталь для измерительных инструментов | 39 |
| III. Сталь инструментальная | | |

Продолжение

Таблица 2

| Класс стали | Группа стали | № таблицы, в которой приведены характеристики стали |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| IV. Сталь с особыми физическими свойствами | 17. Сталь с определенным коэффициентом расширения | 45 |
| | 18. Сталь с модулем упругости, не зависящим от температуры | 45 |
| | 19. Сталь магнитная | 45 |
| | 20. Сталь немагнитная | 45 |
| | 21. Сталь и сплавы с высоким электропротивлением | 45 |

Пояснения к классификации стали по указанным группам приведены для удобства рассмотрения при указании химического состава стали каждого класса.

Класс I — сталь строительная

Строительная сталь—это обычно углеродистая обыкновенного качества.

Строительная сталь большей частью поставляется металлургическими заводами по механическим свойствам (сталь класса А по ГОСТ 380-50) и применяется в состоянии поставки (табл. 2).

В сертификате хотя и указывается химический состав, но он не является обязательным, за исключением особых случаев. Завод-потребитель имеет право требовать определенных пределов по содержанию серы и фосфора (табл. 3). Кроме того, при использовании стали для сварных конструкций, по требованию потребителя должны быть гарантированы:

а) предельное содержание углерода, серы и фосфора, согласно табл. 3;

б) содержание кремния в стали: Ст. 3 в пределах 0,12—0,22%, в сталях Ст. 4 и Ст. 5 — в пределах 0,12—0,25% и содержание хрома, никеля и меди — не более 0,30% каждого.

Кроме указанных испытаний, сталь может по требованию потребителя испытываться на ударную вязкость, загиб в холодном состоянии и свариваемость.

Строительная сталь поставляется по химическому составу в случае требования потребителя, если последний подвергает ее горячей обработке, — сталь

Группа 1 — углеродистая сталь (группа А по ГОСТ 380-50)

| Марка стали | Механические свойства | | | Примерное назначение |
|-------------|------------------------------------|---------------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | σ_t в кг/мм ² | δ_5 в % | |
| Ст. 0 | 32—47 (обычно не определяются) | 19 | 22 | Листовой и сортовой прокат для строительных конструкций, арматура Анкерные болты, жесткие связи и т. д. Закленки, листы, трубы Сортовой и листовой прокат для строительных конструкций и мостов, болты, крюки кранов, рамы паровозные Детали строительных конструкций |
| Ст. 1 | 32—40 | — | 33 | |
| Ст. 2 | 34—42 | 22 | 31 | |
| Ст. 3 | 38—40 41—43 44—47 | 24 24 24 | 27 26 25 | |
| Ст. 4 | 42—44 45—48 49—52 | 26 26 26 | 25 24 23 | |

Примечание. Стали марок Ст. 5 — Ст. 7 используются только в качестве конструкционных.

группы Б согласно ГОСТ 380-50 (табл. 3).

При этом по требованию потребителя содержание серы в мареновской стали (кроме стали МСт. 0) должно быть не более 0,05%, а содержание фосфора — не более 0,045%.

По способу изготовления следует различать две группы строительной углеродистой стали:

1) сталь спокойную, в процессе выплавки которой были проведены операции раскисления и была уменьшена газонасыщенность стали;

2) сталь кипящую, менее раскисленную (более дешевую), при застывании которой в слитке образуется много газовых пузырей, в большей части заваривающихся при горячей обработке. Кипящая сталь обладает лучшей способностью к олодной деформации. По сравнению со спокойной сталью она несколько хуже принимает сварку и более склонна к старению (синеломкости) вследствие повышенного содержания в ней газов. Поэтому ее не рекомендуют в качестве материала

Группа 1 — углеродистая сталь (группа Б по ГОСТ 380-50)

Таблица 3

| Марка стали | Химический состав в % | | | | | | Примерное назначение |
|-------------|-----------------------|-----------|------------|---------------------------|-------|-------|----------------------|
| | С | Mn | Si в стали | | S | P | |
| | | | кипящей | спокойной и полуспокойной | | | |
| МСт. 0 | ≤ 0,23 | — | — | — | 0,060 | 0,070 | См. Ст. 0, табл. 2 |
| МСт. 1 | 0,07—0,12 | 0,35—0,50 | Следы | — | 0,055 | 0,050 | См. Ст. 1, табл. 2 |
| МСт. 2 | 0,09—0,15 | 0,35—0,50 | " | — | 0,055 | 0,050 | См. Ст. 2, табл. 2 |
| МСт. 3 | 0,14—0,22 | 0,40—0,65 | " | 0,12—0,30 | 0,055 | 0,050 | См. Ст. 3, табл. 2 |
| МСт. 4 | 0,18—0,27 | 0,40—0,70 | " | 0,12—0,30 | 0,055 | 0,050 | См. Ст. 4, табл. 2 |
| БСт. 0 | ≤ 0,14 | — | — | — | 0,070 | 0,070 | См. Ст. 0, табл. 2 |
| БСт. 3 | ≤ 0,12 | 0,25—0,55 | Следы | 0,10—0,35 | 0,065 | 0,085 | См. Ст. 1, табл. 2 |
| БСт. 4 | 0,12—0,20 | 0,35—0,55 | " | 0,10—0,35 | 0,065 | 0,085 | См. Ст. 3, табл. 2 |
| БСт. 5 | 0,17—0,30 | 0,50—0,80 | — | 0,10—0,35 | 0,065 | 0,035 | См. Ст. 4, табл. 2 |

Примечание. Стали марок МСт. 5 — МСт. 7 используются только в качестве конструктивных, табл. 5.

Группа 2 — легированная сталь

Таблица 4

| Тип стали | Химический состав в % | | | | | | Механические свойства | | | | Примерное назначение |
|-----------------------------------------------|-----------------------|----------|---------|---------|---------|---------|------------------------------------|---------------------------------|-------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------|
| | С | Mn | Si | Cr | Ni | Cu | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | σ_T в кг/мм ² | δ_5 в % не менее | $a_{кл}$ в кг/мм ² не менее | |
| НЛ-1 (ГОСТ 5058-49) | ≤ 0,15 | 0,5—0,8 | 0,3—0,5 | 0,5—0,8 | 0,3—0,7 | 0,3—0,5 | > 42 | > 30 | 20 | 10 | Конструкции и заготовки повышенной прочности |
| НЛ-2 (ГОСТ 5058-49) | 0,12—0,18 | 0,5—0,8 | 0,3—0,5 | 0,5—0,8 | 0,3—0,7 | 0,3—0,5 | 43—63 | 34—35 | 18 | 8 | Конструкции повышенной прочности |
| Марганцовистая (ТУ 612) для толщины: до 10 мм | ≤ 0,22 | 1,3—1,65 | ≤ 0,40 | ≤ 0,30 | ≤ 0,50 | — | 55—60 | > 35 | 18 | — | Сварные конструкции |
| 10—30 мм | ≤ 0,25 | 1,3—1,65 | ≤ 0,40 | ≤ 0,30 | ≤ 0,50 | — | — | — | — | — | — |
| Марганцовистая (Ст. 1718-39) | ≤ 0,30 | ≤ 1,65 | ≤ 0,40 | ≤ 0,20 | ≤ 0,50 | — | 60—70 | > 40 | 16 | — | Конструкции повышенной прочности |

в котлах, баках и других аппаратах, работающих при температурах выше 150—200°С. Кроме того, кипящая мартеновская, а также бессемеровская и томасовская стали более значительно, чем спокойная мартеновская сталь, снижают ударную вязкость при понижении температуры (особенно ниже 0°С).

Легированная сталь для строительных целей не имеет столь широкого приме-

нения, как углеродистая сталь. Поэтому в табл. 4 указываются только некоторые наиболее известные составы легированной стали.

Класс II — сталь конструкционная (машиностроительная). Конструкционные стали по основным особенностям, определяющим область их применения в промышленности, распределяются ниже на следующие два подкласса.

Подкласс А. Стали общего назначения. Эти стали применяются для изготовления различных деталей и изделий (валы, оси, шестерни и т. д.) в разных отраслях машиностроения (автомобильной, авиационной, станкостроения и т. д.). Наиболее важной характеристикой, по которой выбираются эти стали, являются механические свойства.

Однако конструкционные стали могут обладать при одинаковом содержании углерода, но различном содержании легирующих элементов, близкими механическими свойствами в деталях или образцах небольшого диаметра (или толщины), но заметно различаться по механическим свойствам в деталях крупного сечения. Поэтому надо выбирать марки конструкционной стали для изготовления изделий с учетом толщины изделия, а следовательно, и прокаливаемости стали.

В связи с этим конструкционные (машиностроительные) стали общего назначения распределены ниже на следующие группы:

а) сталь небольшой прокаливаемости, прокаливающаяся полностью в деталях диаметром не более 10—15 мм (группа 3);

б) сталь средней прокаливаемости, прокаливающаяся полностью в деталях диаметром до 25—35 мм (группа 4);

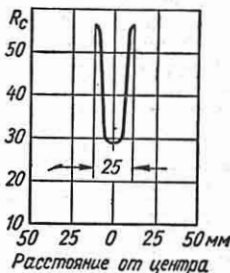
в) сталь повышенной прокаливаемости, прокаливающаяся полностью в деталях диаметром до 50—75 мм (группа 5);

г) сталь высокой прокаливаемости, прокаливающаяся в деталях диаметром более 75—100 мм, обладающая, кроме того, высокими прочностью и вязкостью после термической обработки (группа 6).

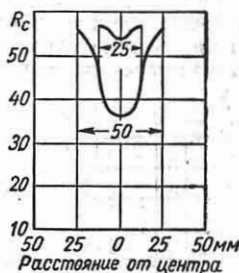
Различие в прокаливаемости стали этих групп показано на фиг. 32—35 применительно к стали с содержанием 0,35—0,45% С. Сталь с более низким содержанием углерода, в частности цементуемая (0,1—0,25% С), не получает без цементации в результате лишь одной закалки высокой прочности поверхности, и в сердцевине изделия из этой стали значительной толщины сохраняется структура, близкая к исходной. Более высоколегированная сталь с таким же содержанием углерода, отнесенная к группе стали повышенной и высокой прокаливаемости (сталь марок 12ХН2, 12Х2Н4, 12ХН3 и др.), принимает закалку и в нецементованном слое, приобретая однородную структуру и высокие прочность и пластичность по

всему сечению изделия (в зависимости от содержания легирующих элементов в изделиях диаметром до 150 мм и более).

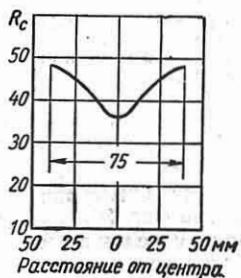
Такая классификация характеризует также в известной степени химический состав стали, указывая на влияние



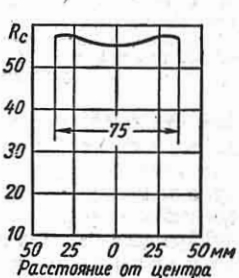
Фиг. 32. Прокаливаемость углеродистой стали (0,4% С); сталь прокаливается в сечении до 12—15 мм.



Фиг. 33. Прокаливаемость хромистой стали (0,4% С, 0,8—1,1% Cr); сталь прокаливается в сечении до 25 мм.



Фиг. 34. Прокаливаемость стали 0,4% С, 1,0% Cr, 1,75% Ni; сталь прокаливается в сечении до 75 мм.

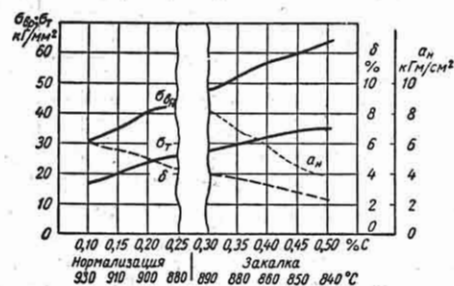


Фиг. 35. Прокаливаемость стали 0,4% С, 1,5% Cr и 3,5% Ni; сталь прокаливается в сечении более 75 мм.

легирующих элементов. Так, например, сталь небольшой прокаливаемости является углеродистой, а сталь высокой прокаливаемости представляет главным образом сталь с повышенным содержанием хрома и никеля (и молибдена) или хрома, никеля и марганца (и молибдена). Эти стали, как более легированные, обладают также более высокой прочностью и пластичностью, особенно после улучшающей термической обработки. Классификация характеризует также закаляемость стали: например, сталь небольшой прокаливаемости принимает закалку при условии охлаждения в воде, средней прокаливаемости — в масле

(иногда в воде), повышенной прокаливаемости — в масле, а сталь высокой прокаливаемости — также и на воздухе.

Однако любая классификация не может, конечно, характеризовать всех свойств сплавов. Приводимая классификация не совпадает, например, с применяемым иногда делением стали по ее отношению к термической обработке на цементуемую и улучшаемую; поэтому соответствующие указания о примене-



Фиг. 36. Механические свойства углеродистой стали (на образцах диаметром 25 мм) в зависимости от содержания углерода для стали с 0,1—0,25% С после нормализации и для стали 0,3—0,5% С после закалки (охлаждение в воде) и отпуска при 600° С.

нии стали для цементации даны в приводимых ниже таблицах в графе «Примерное назначение стали». Влияние углерода на механические свойства углеродистой стали представлено на фиг. 36.

Подкласс Б. Стали специализированного назначения. Эти стали применяются главным образом в определенных отраслях техники и для специальных деталей машин и аппаратов (например, сталь рессорно-пружинная, сталь, устойчивая против коррозии, и т. д.).

Некоторые марки стали общего назначения имеют химический состав, аналогичный со сталью специализированного назначения, и применяются в технике в качестве стали специализированного назначения; такие марки стали приводятся в таблицах 2 раза (т. е. в каждой соответствующей группе).

Для большинства марок машиностроительной конструкционной качественной и высококачественной стали принято обозначение из сочетания цифр и букв. Цифры, помещенные с левой стороны букв, означают среднее содержание углерода в сотых долях процента, буквы означают наличие соответствующего элемента в стали, а именно: Г —

марганец, С — кремний, Х — хром, Н — никель, М — молибден, В — вольфрам, Ф — ванадий, Ю — алюминий, Т — титан и К — кобальт.

Цифры, помещенные после букв, указывают примерное процентное содержание соответствующих элементов, если последние содержатся в количестве более 1—1,5%.

Буква А в конце марки означает, что сталь является высококачественной.

Например, сталь марки 12Х2Н4А является высококачественной сталью и содержит в среднем 0,12% С, 2% Cr и 4% Ni.

К подклассу Б отнесены группы стали 7—12.

По группам 11 и 12 приводятся следующие дополнительные указания.

Группа 11. Сталь для работы под нагрузкой при повышенных температурах. Под действием нагрузок, длительно приложенных при температурах 200—250° С, в недостаточно полно раскисленной низкоуглеродистой стали обыкновенного качества развивается синеломкость, характеризующаяся снижением ударной вязкости, особенно значительным в кипящей стали. Поскольку котлы обычно работают в условиях длительного нагрева при 200—250° С, то их изготовляют из специальной раскисленной стали (котельной или топочной). В табл. 31 указывается химический состав котельной стали.

При температурах до 300—350° С предел ползучести при длительном нагружении стали остается выше предела текучести. Поэтому при работе до 300—350° С применяются углеродистые и легированные конструкционные стали общего назначения, однако при условии, что допускаемые напряжения исчисляются по отношению к пределу текучести или к пределу прочности, определенных при указанной температуре:

1) жаропрочная сталь, обладающая высоким пределом ползучести при длительном нагружении в интервале температур до 800° С;

2) жаростойкая сталь, устойчива против газовой коррозии (воздух, печные газы, продукты сгорания) при высоких температурах до 900—1200° и применяемая, однако, в указанных условиях без приложения больших нагрузок (т. е. в условиях, когда деталь не рассчитывается на сопротивление ползучести).

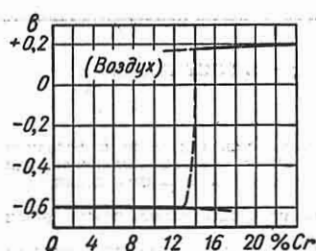
Составы жаростойкой стали приведены в группе стали, устойчивой против коррозии (см. табл. 32).

Жаропрочная сталь, являясь одновременно жаростойкой, обычно используется в деталях, работающих при более высоких температурах, при которых она хотя и не сохраняет достаточного сопротивления ползучести, но обладает повышенной стойкостью против газовой коррозии.

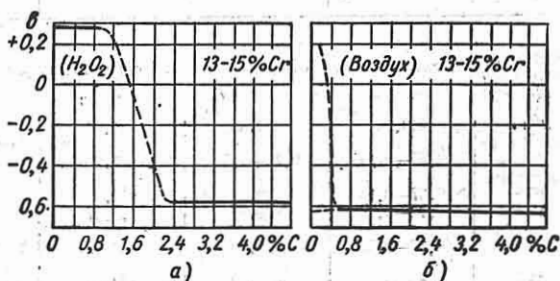
Группа 12. Сталь и сплавы на железной основе, устойчивые против коррозии. Сталь специализированного назначения. Различающиеся по составу и структуре стали

углерода, имеющая ферритно-карбидную структуру, а также сталь с 17% Cr, имеющая ферритную структуру; на фиг. 37 и 38 показано возрастание электрохимического потенциала железа в некоторых средах с возрастанием содержания хрома; эта сталь, однако, не обладает достаточной стойкостью против действия многих кислот, щелочей и других относительно активных сред;

4) *сталь высокой устойчивости против коррозии в химически активных средах*; типичной сталью этой подгруппы является сталь типа 18-8 (1X18H9) с высоким содержанием хрома (~18%) и никеля (8—9%), применяемая в закаленном состоянии, в котором она имеет аусте-



Фиг. 37. Влияние содержания хрома на потенциал железа в присутствии воздуха.



Фиг. 38. Влияние углерода на потенциал хромистой стали: а — в среде перекиси водорода; б — в среде воздуха.

и сплавы, устойчивые против коррозии, можно распределить на следующие подгруппы:

1) *сталь повышенной устойчивости против воздушной коррозии*; сюда относится медистая сталь, имеющая повышенную коррозионную устойчивость по сравнению обычной углеродистой сталью; эта сталь может содержать легирующие элементы (хром, никель, молибден), вводимые для улучшения механических свойств или технологических качеств;

2) *жаростойкая сталь, устойчивая против газовой коррозии* (в атмосфере воздуха, продуктов крекинга-процесса, печных газов, продуктов сгорания) при высоких температурах; эта сталь имеет повышенное содержание хрома, а в некоторых марках также и кремния или алюминия, образующих прочную защитную окисную пленку;

3) *сталь повышенной устойчивости против коррозии в химически активных средах*; характерной сталью этой подгруппы является высокохромистая сталь с 12—14% Cr и с разным содержанием

нитную структуру; эта сталь отличается высокой вязкостью и значительной способностью к наклепу; детали из нее изготовляют часто холодной деформацией, повышающей пределы прочности и текучести; обработка резанием этой стали встречает значительные трудности; для улучшения обрабатываемости в сталь некоторых марок вводят селен, теллур или серу; сталь 18-8 не обладает достаточной стойкостью против действия очень агрессивных сред, в частности концентрированных соляной и серной кислот; более устойчива против действия серной кислоты сталь с содержанием 28—32% Cr;

5) *сплавы на железной основе, особенно устойчивые против коррозии*, изготавливаемые литьем; сюда входят: а) кремнистые, кислотоупорные сплавы (ферросилиды); широкое применение этих сплавов ограничивается из-за их высокой твердости ($H_B > 250$) и повышенной хрупкости; б) кремниймолибденовые сплавы (антихлор); технологические свойства антихлора аналогичны свойствам ферросилидов;

б) высокохромистые сплавы повышенной устойчивости против коррозии в условиях абразивного воздействия; эти сплавы содержат 26—36% Cr и по механиче-

ским свойствам мало отличаются от чугуна высокой прочности; детали из них изготавливаются литьем.

Класс II. Сталь конструкционная (машиностроительная)

А. Сталь общего назначения

Таблица 5

Группа 3. Сталь небольшой прокаливаемости (прокаливается в деталях диаметром до 10—15 мм)

| Марка стали | Химический состав в % | | | Примерное назначение |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | C | Mn | Si | |
| <i>Углеродистая качественная конструкционная сталь (по ГОСТ 1050-52)</i> | | | | |
| 08кп (кипящая) | ≤0,06 | ≤0,35 | ≤0,03 | Тонкие листы, штампуемые в холодном состоянии с глубокой вытяжкой, или прутки для холодной штамповки |
| 08кп (кипящая) | 0,05—0,12 | 0,25—0,50 | ≤0,03 | |
| 10* | 0,07—0,15 | ≤0,50 | ≤0,03 | |
| 15* | 0,12—0,20 | ≤0,50 | ≤0,07 | |
| 20* | 0,17—0,25 | ≤0,50 | ≤0,07 | То же, прочность выше, чем в стали 03 кп |
| 05 | ≤0,05 | ≤0,20 | ≤0,20 | То же, но при меньшей пластичности и более высокой прочности Для деталей электромашин |
| 10 | 0,17—0,15 | 0,35—0,65 | 0,17—0,37 | 1. Цементуемые и цианируемые детали, не требующие высокой прочности сердцевин 2. Разные детали неответственного назначения (болты, стяжки, фланцы для крюков) |
| 15 | 0,12—0,20 | 0,35—0,65 | 0,17—0,37 | |
| 20 | 0,17—0,25 | 0,35—0,65 | 0,17—0,37 | Сталь хорошо сваривается 1. Цементуемые и цианируемые детали, не требующие высокой прочности (но прочность выше, чем у стали 10 и 15) 2. Тяги, траверсы и т. п., испытывающие небольшие напряжения и требующие значительной вязкости |
| 25 | 0,22—0,30 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | Оси, валы, соединительные муфты, не испытывающие больших напряжений |
| 30 | 0,27—0,35 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | Сталь хорошо сваривается |
| 35 | 0,32—0,40 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | Оси, валы, цилиндры прессов, цельнокованные роторы, не испытывающие больших напряжений; применяются в нормализованном состоянии. Сталь пригодна для сварки |
| 30* | 0,27—0,35 | ≤0,60 | ≤0,20 | Для изготовления изделий холодной высалки Оси, валы, штоки, шестерни. Сталь более высокой прочности (чем сталь 30 и 35) и средней вязкости; применяется после закалки с отпуском или после нормализации; после сварки необходима термическая обработка |
| 35* | 0,32—0,40 | ≤0,60 | ≤0,20 | |
| 40 | 0,37—0,45 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | |
| 40* | 0,37—0,45 | ≤0,60 | ≤0,20 | |
| 40* | 0,37—0,45 | ≤0,60 | ≤0,20 | Для изготовления изделий холодной высалки |

* По ГОСТ 1051-50.

Продолжение табл. 5

| Марка стали | Химический состав в % | | | Примерное назначение |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | C | Mn | Si | |
| 45 | 0,42—0,50 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | Для изготовления изделий холодной высадки, а также шпиндели, зубчатые колеса, болты Для изготовления изделий холодной высадки Шестерни, штоки, валы, прокатные валки, оси. Применяется чаще в нормализованном состоянии Прокатные валки, штоки. Закаливается в воде и в масле; применяется чаще в нормализованном состоянии |
| 45* | 0,42—0,50 | ≤0,60 | ≤0,20 | |
| 50 | 0,47—0,55 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | |
| 55 | 0,50—0,60 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | |
| | | | | |
| <i>Углеродистая сталь обыкновенного качества (группа Б по ГОСТ 380-50)</i> | | | | |
| МСт. 2 | 0,09—0,15 | 0,35—0,50 | — | Рамы и пояса тележек, связки, кольца, цилиндры, ключи. Хорошо свариваются Болты, тяги, стяжки. Удовлетворительно сваривается Болты, валки вагонных рессор, клинья, шатуны, бабки молотов, пальцы Валы, оси, бойки для молотов, шпиндели, оси |
| МСт. 3 | 0,14—0,22 | 0,40—0,65 | 0,12—0,30 ** | |
| МСт. 4 | 0,18—0,27 | 0,40—0,70 | 0,12—0,30 ** | |
| МСт. 5 | 0,28—0,37 | 0,50—0,80 | 0,17—0,35 | |
| МСт. 6 | 0,38—0,50 | 0,50—0,80 | 0,17—0,35 | |
| МСт. 7 | 0,50—0,63 | 0,55—0,85 | 0,17—0,35 | |
| | | | | |
| <i>Сталь качественная с повышенным содержанием марганца (по ГОСТ 1050-52)</i> | | | | |
| 15Г | 0,12—0,20 | 0,70—1,00 | 0,17—0,37 | По сравнению со сталью 10 и 15 лучше свариваются, обладают немного большими прочностью и прокаливаемостью Ленты — расчалки, тяги, вилки, рычаги сцепления в автомобилях и тракторах 1. Оси, валки; применяется чаще в нормализованном состоянии для деталей, подвергающихся истиранию и действию высоких нагрузок, как диски, поршни, шестерни 2. Детали с высокой пластичностью (трубки, прокладки, шайбы). Сталь хорошо сваривается |
| 20Г | 0,17—0,25 | 0,70—1,00 | 0,17—0,37 | |
| 30Г | 0,25—0,35 | 0,70—1,00 | 0,17—0,37 | |
| 40Г | 0,35—0,45 | 0,70—1,00 | 0,17—0,37 | |
| 50Г | 0,45—0,55 | 0,70—1,00 | 0,17—0,37 | |
| | | | | |

Примечания: 1. Стали марок МСт. 2 — МСт. 7 (по ГОСТ 380-50) обладают меньшей вязкостью, чем аналогичные по составу качественные углеродистые стали.

2. Сталь марок 10, 15, 20, 25 (по ГОСТ 1050-52) может изготавливаться кипящей с содержанием Si ≤ 0,08% и Mn 0,25—0,50%.

3. В качественной конструкционной стали (ГОСТ 1050-52) содержание S ≤ 0,045% и P ≤ 0,040% во всех марках, за исключением марок стали 05кп и 08кп, в которых содержание S и P до 0,04% каждого, и марки 05, в которой содержание S ≤ 0,03% и P ≤ 0,025%.

4. Содержание Cr и Ni в стали марок 05кп, 08кп и 10 соответственно до 0,15 и до 0,30%, марки 05 — следы, во всех остальных марках содержание Cr и Ni не более 0,30% каждого.

5. По требованию завода-потребителя конструкционная углеродистая сталь может поставляться:

а) с уменьшенным пределом колебания содержания углерода до 0,05%;

б) с пониженным содержанием серы и фосфора;

в) с пониженным содержанием хрома до 0,2% и меди до 0,25%;

г) с содержанием кремния в марках спокойной стали 0,17—0,27%;

д) с контролируемой свариваемостью и нормированной величиной зерна, определенной микроструктурой после термической обработки, нормированной чистотой по неметаллическим включениям и с гарантированной степенью прокаливаемости.

* По ГОСТ 1051-50.

** Сталь данной марки может быть не только спокойной и полуспокойной, но и кипящей (SI — следы).

Группа 4. Сталь средней прокаливаемости (прокаливающаяся в деталях диаметром до 25—35 мм)

| Марка стали | Химический состав в % | | | | | Другие легирующие элементы | Примерное назначение |
|------------------------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | C | Mn | Si | Cr | Ni | | |
| <i>Марганцовистая сталь (по ГОСТ 1050-52)</i> | | | | | | | |
| 10Г2 | 0,07—0,15 | 1,2—1,6 | 0,17—0,37 | ≤0,30 | ≤0,30 | — | Сварные и штампуемые изделия: очень хорошая свариваемость Оси тележек, полуоси Коленчатые валы, цапфы, полуоси Карданные валы, шатуны, вагонные (в том числе трамвайные) оси |
| 30Г2 | 0,25—0,35 | 1,40—1,80 | 0,17—0,37 | ≤0,30 | ≤0,30 | — | |
| 35Г2 | 0,30—0,40 | 1,40—1,80 | 0,17—0,37 | ≤0,30 | ≤0,30 | — | |
| 45Г2 | 0,40—0,50 | 1,40—1,80 | 0,17—0,37 | ≤0,30 | ≤0,30 | — | |
| <i>Хромистая сталь (по ГОСТ 4543-48)</i> | | | | | | | |
| 15Х | 0,12—0,20 | 0,30—0,60 | 0,17—0,37 | 0,70—1,00 | ≤0,40 | — | Шестерни, поршневые пальцы. Сталь цементуемая, закаливается в масле и имеет большую прочность сердцевины, чем сталь 15 и 20 |
| 15ХА | 0,12—0,18 | 0,30—0,60 | 0,17—0,37 | 0,70—1,00 | ≤0,40 | — | |
| 20Х | 0,15—0,25 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | 0,70—1,00 | ≤0,40 | — | Цементуемые и нецементуемые детали: шестерни, валы, болты и т. д. |
| 20ХА | 0,17—0,24 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | 0,70—1,00 | ≤0,40 | — | |
| 30Х | 0,25—0,35 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | 0,80—1,10 | ≤0,40 | — | Оси, катки, шестерни, галы |
| 30ХА | 0,25—0,33 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | 0,80—1,10 | ≤0,40 | — | |
| 35Х | 0,30—0,40 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | 0,80—1,10 | ≤0,40 | — | |
| 38ХА | 0,34—0,42 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | 0,80—1,10 | ≤0,40 | — | |
| 40Х | 0,35—0,45 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | 0,80—1,10 | ≤0,40 | — | |
| 45Х | 0,40—0,50 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | 0,80—1,10 | ≤0,40 | — | Сильно нагруженные детали, подвергающиеся истиранию: оси, шестерни. Обладает большими прочностью и износостойкостью, но меньшей вязкостью, чем сталь 35Х и 40Х |
| 45ХА | 0,42—0,50 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | 0,80—1,10 | ≤0,40 | — | |
| 40Х* | 0,34—0,42 | 0,50—0,80 | ≤0,20 | 0,80—1,10 | — | — | Для изделий холодной высадки |
| 50Х | 0,45—0,55 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | 0,80—1,10 | ≤0,40 | — | Для нагруженных деталей, подвергающихся истиранию: оси, валки |
| 50ХА | 0,47—0,55 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | 0,80—1,10 | ≤0,40 | — | |
| <i>Хромокремнистая сталь (по ГОСТ 4543-48)</i> | | | | | | | |
| 33ХС | 0,29—0,37 | 0,30—0,60 | 1,00—1,30 | 1,30—1,60 | ≤0,40 | — | Тонкостенные трубы, валы, оси, от которых требуется высокая прочность. При отпуске 250—270° С $\sigma_{вр} > 150$ кг/мм ² |
| 33ХСА | 0,29—0,37 | 0,30—0,60 | 1,00—1,30 | 1,30—1,60 | ≤0,40 | — | |
| 40ХС | 0,37—0,45 | 0,30—0,60 | 1,20—1,60 | 1,30—1,60 | ≤0,40 | — | Нецементуемые шестерни и детали с высокой прочностью и износостойкостью. При отпуске 250—270° С $\sigma_{вр} > 170$ кг/мм ² |
| 40ХСА | 0,37—0,45 | 0,30—0,60 | 1,20—1,60 | 1,30—1,60 | ≤0,40 | — | |

* По ГОСТ 1051-50.

Продолжение табл. 6

| Марка стали | Химический состав в % | | | | | | Примерное назначение |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | C | Mn | Si | Cr | Ni | Другие легирующие элементы | |
| <i>Хромованадиевая сталь (по ГОСТ 4543-48)</i> (прокаляемость ниже, чем у остальных сталей данной группы) | | | | | | | |
| 15ХФ | 0,12—0,20 | 0,30—0,60 | 0,17—0,37 | 0,80—1,10 | ≤0,40 | V 0,10—0,20 | Шестерни, распределительные валики, поршневые пальцы, работающие с многократно переменными нагрузками. Цементуемая сталь получает более твердую поверхность и меньше склонна к росту зерна, чем сталь 15Х |
| 15ХФА | 0,12—0,18 | 0,30—0,60 | 0,17—0,37 | 0,80—1,10 | ≤0,40 | V 0,10—0,20 | |
| 15ХФ* | 0,12—0,20 | 0,30—0,60 | ≤0,20 | 0,80—1,10 | — | V 0,10—0,20 | |
| 20ХФ | 0,15—0,25 | 0,40—0,70 | 0,17—0,37 | 0,80—1,10 | ≤0,40 | V 0,10—0,20 | |
| 20ХФА | 0,17—0,25 | 0,40—0,70 | 0,17—0,37 | 0,80—1,10 | ≤0,40 | V 0,10—0,20 | Цементуемые и нецементуемые детали, работающие с вибрационными нагрузками |
| 40ХФА | 0,37—0,45 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | 0,80—1,10 | ≤0,40 | V 0,10—0,20 | |
| <i>Никелевая сталь (по ГОСТ 4543-48)</i> | | | | | | | |
| 25НА | 0,22—0,30 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | ≤0,30 | 0,50—0,90 | — | В тяжелом машиностроении для крупных поковок, подвергаемых улучшению или нормализации |
| 25Н | 0,20—0,30 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | ≤0,30 | 0,50—0,90 | — | |
| 30НА | 0,27—0,35 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | ≤0,30 | 0,80—1,20 | — | |
| 30Н | 0,25—0,35 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | ≤0,30 | 0,80—1,20 | — | |

* По ГОСТ 1051-50.

Таблица

Группа 5. Сталь повышенной прокаляемости (прокаляющаяся в деталях диаметром до 60—75 мм) (по ГОСТ 4543-48)

| Марка стали | Химический состав в % | | | | | | Примерное назначение |
|---------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|-------|-----------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | C | Mn | Si | Cr | Ni | Другие легирующие элементы | |
| <i>Никельмолибденовая сталь</i> | | | | | | | |
| 15НМА | ≤0,17 | 0,40—0,70 | 0,17—0,37 | ≤0,30 | 1,50—2,00 | Mo 0,20—0,30 | Цементуемые шестерни, распределительные валики, обладающие повышенной ударной вязкостью и высоким сопротивлением усталости |
| 15НМ | 0,10—0,18 | 0,40—0,70 | 0,17—0,37 | ≤0,30 | 1,50—2,00 | Mo 0,20—0,30 | |
| 20НМ | 0,17—0,25 | 0,40—0,70 | 0,17—0,37 | ≤0,30 | 1,50—2,00 | Mo 0,20—0,30 | |
| 40НМА | 0,37—0,45 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | ≤0,30 | 1,50—2,00 | Mo 0,20—0,30 | Улучшаемые детали высокой вязкости при повышенной прочности |
| 40НМ | 0,37—0,45 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | ≤0,30 | 1,50—2,00 | Mo 0,20—0,30 | |

| Марка стали | Химический состав в % | | | | | | Примерное назначение |
|---------------------------------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | C | Mn | Si | Cr | Ni | Другие легирующие элементы | |
| <i>Хромоникелевая сталь</i> | | | | | | | |
| 12XН2 | ≤0,17 | 0,30—0,60 | 0,17—0,37 | 0,60—0,90 | 1,50—2,00 | — | Цементуемые шестерни, валики, штоки с высокой вязкостью |
| 12XН2А | 0,11—0,17 | 0,30—0,60 | 0,17—0,37 | 0,60—0,90 | 1,50—2,00 | — | |
| 20XH | 0,15—0,25 | 0,40—0,70 | 0,17—0,37 | 0,45—0,75 | 1,00—1,50 | — | Цементуемые и нецементуемые шестерни, валики с повышенной вязкостью |
| 20XHA | 0,15—0,23 | 0,40—0,70 | 0,17—0,37 | 0,45—0,75 | 1,00—1,50 | — | |
| 40XH | 0,35—0,45 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | 0,45—0,75 | 1,00—1,50 | — | Валы, шестерни, ответственные болты, шпильки |
| 40XHA | 0,37—0,45 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | 0,45—0,75 | 1,00—1,50 | — | |
| <i>Хромоникельмолибденовая сталь</i> | | | | | | | |
| 40XНМА | 0,36—0,44 | 0,50—0,30 | 0,17—0,37 | 0,60—0,90 | 1,25—1,75 | Mo 0,15—0,25 | Тяжело нагружаемые валы, шатуны |
| <i>Хромомарганцевая сталь</i> | | | | | | | |
| 15XГ | 0,12—0,20 | 1,10—1,40 | 0,17—0,37 | 0,40—0,70 | ≤0,40 | — | Для цементуемых деталей, подвергаемых действию значительных удельных давлений |
| 15XГА | 0,12—0,18 | 1,10—1,40 | 0,17—0,37 | 0,40—0,70 | ≤0,40 | — | |
| 40XГ | 0,35—0,45 | 0,90—1,20 | 0,17—0,37 | 0,90—1,20 | ≤0,40 | — | Для улучшаемых деталей как заменитель стали 40XH |
| 40XГА | 0,37—0,45 | 0,90—1,20 | 0,17—0,37 | 0,90—1,20 | ≤0,40 | — | |
| <i>Хромомарганцевотитановая сталь</i> | | | | | | | |
| 18XГТ | 0,16—0,24 | 0,80—1,10 | 0,17—0,37 | 1,00—1,30 | ≤0,40 | Ti 0,08—0,15 | Цементуемые шестерни, валики; применяется для многих деталей вместо сталей 20XH, 12XН2А и др. |
| <i>Кремнемарганцевая и хромокремнемарганцевая сталь</i> | | | | | | | |
| 27СГ | 0,22—0,32 | 1,10—1,40 | 1,10—1,40 | ≤0,30 | ≤0,40 | — | Улучшаемые нормализованные детали: детали гусениц, траков и т. д. Для криошипов, валов; заменяет стали, содержащие никель и молибден |
| 35СГ | 0,30—0,40 | 1,10—1,40 | 1,10—1,40 | ≤0,30 | ≤0,40 | — | |
| 20XГС | 0,15—0,25 | 0,80—1,10 | 0,90—1,20 | 0,80—1,10 | ≤0,40 | — | |
| 20XГСА | 0,17—0,24 | 0,80—1,10 | 0,90—1,20 | 0,80—1,10 | ≤0,40 | — | Листовой материал, сварные и штампованные детали: узлы, рамы ответственного назначения; штоки, тонкостенные трубы. Заменяют хромомолибденовую сталь |
| 25XГС | 0,22—0,30 | 0,80—1,10 | 0,90—1,20 | 0,80—1,10 | ≤0,40 | — | |
| 25XГСА | 0,22—0,29 | 0,80—1,10 | 0,90—1,20 | 0,80—1,10 | ≤0,40 | — | |
| 30XГС | 0,25—0,35 | 0,80—1,10 | 0,90—1,20 | 0,80—1,10 | ≤0,40 | — | То же, но большей прочности (при несколько меньшей вязкости) |
| 30XГСА | 0,28—0,35 | 0,80—1,10 | 0,90—1,20 | 0,80—1,10 | ≤0,40 | — | Оси, шестерни |

Продолжение табл. 7

| Марка стали | Химический состав в % | | | | | Другие легирующие элементы | Примерное назначение |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | C | Mn | Si | Cr | Ni | | |
| 35ХГС 35ХГСА | 0,30—0,40 0,32—0,39 | 0,80—1,10 0,80—1,10 | 1,10—1,40 1,10—1,40 | 1,10—1,40 1,10—1,40 | ≤0,40 ≤0,40 | | Оси, шестерни, и другие детали высокой прочности, но не требующие повышенной вязкости. Заменяют стали, содержащие никель и молибден |
| <i>Хромомолибденовая сталь</i> | | | | | | | |
| 12ХМ 15ХМА | ≤0,16 0,10—0,18 | 0,40—0,70 0,40—0,70 | 0,17—0,37 0,17—0,37 | 0,80—1,10 0,80—1,10 | ≤0,30 ≤0,30 | Mo 0,40—0,55 Mo 0,40—0,55 | Хорошая свариваемость. Сварные детали. Листы, трубы. Сварные детали. Присадочный материал при сварке Листы, трубы Валы, оси, сварные конструкции, тонкостенные трубы ответственного назначения. Большая пластичность, хорошая свариваемость Роторы, валы, шестерни, муфты в турбостроении: шестерни, цапфы, цилиндры моторов, ведущие валы: дисковые буксы, перфораторы в нефтяной промышленности. Прокаливаемость в деталях до 50 мм Цилиндры, работающие в тяжелых условиях. Крепежные детали котлов высокого давления. Прокаливаемость в деталях диаметром до 80 мм |
| 20ХМА | 0,17—0,24 | 0,40—0,70 | 0,17—0,37 | 0,80—1,10 | ≤0,40 | Mo 0,15—0,25 | |
| 20ХМ 30ХМА 30ХМ | 0,15—0,25 0,25—0,33 0,25—0,35 | 0,40—0,70 0,40—0,70 0,40—0,70 | 0,17—0,37 0,17—0,37 0,17—0,37 | 0,80—1,10 0,80—1,10 0,80—1,10 | ≤0,40 ≤0,40 ≤0,40 | Mo 0,15—0,25 Mo 0,15—0,25 Mo 0,15—0,25 | |
| 35ХМА 35ХМ | 0,32—0,40 0,30—0,40 | 0,40—0,70 0,40—0,70 | 0,17—0,37 0,17—0,37 | 0,80—1,10 0,80—1,10 | ≤0,40 ≤0,40 | Mo 0,15—0,25 Mo 0,15—0,25 | |
| 35Х2МА | 0,32—0,40 | 0,40—0,70 | 0,17—0,37 | 1,60—1,90 | ≤0,40 | Mo 0,15—0,25 | |
| <i>Хромомолибденованадиевая сталь</i> | | | | | | | |
| 35ХМФА | 0,30—0,38 | 0,40—0,70 | 0,17—0,37 | 1,00—1,30 | ≤0,40 | Mo 0,20—0,30 и V 0,10—0,20 | Коленчатые валы моторов. Детали мощных моторов, детали паровых турбин |
| <i>Хромоалюминиевая и хромомолибденоалюминиевая стали</i> | | | | | | | |
| 35ХЮА 38ХМЮА | 0,31—0,39 0,35—0,42 | 0,30—0,60 0,30—0,60 | 0,17—0,37 0,17—0,37 | 1,35—1,65 1,35—1,65 | ≤0,40 ≤0,40 | Al 0,70—1,20 { Mo 0,15—0,25 Al 0,70—1,1 | Азотируемые высоконагруженные детали: шестерни, цилиндры, валики и т. д. |

Группа 6. Сталь высокой прокаливаемости и с высокими механическими свойствами (по ГОСТ 4543-48)

| Марка стали | Химический состав в % | | | | | | Примерное назначение |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | C | Mn | Si | Cr | Ni | Другие легирующие элементы | |
| Сталь высокой прочности и вязкости | | | | | | | |
| <i>Хромоникель молибденовая и хромоникельвольфрамовая сталь</i> | | | | | | | |
| 12Х2Н3МА | 0,10—0,17 | 0,30—0,60 | 0,17—0,37 | 1,45—1,75 | 2,75—3,25 | Mo 0,20—0,30 | Крупные цементуемые детали сложной конфигурации, коленчатые валы, шестерни, работающие при вибрационных и динамических нагрузках |
| 18Х2Н4МА | 0,15—0,22 | 0,40—0,70 | 0,17—0,37 | 1,45—1,75 | 3,25—3,75 | Mo 0,20—0,30 | |
| 18ХНВА | 0,14—0,21 | 0,25—0,55 | 0,17—0,37 | 1,35—1,65 | 4,00—4,50 | W 0,80—1,20 | |
| 25ХНВА | 0,21—0,28 | 0,25—0,55 | 0,17—0,37 | 1,35—1,65 | 4,00—4,50 | W 0,80—1,20 | |
| 33ХН3МА | 0,29—0,37 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | 0,80—1,10 | 2,50—3,00 | Mo 0,20—0,30 | То же, улучшаемые детали |
| <i>Хромоникелевая сталь</i> | | | | | | | |
| 12Х2Н4А | 0,11—0,17 | 0,30—0,60 | 0,17—0,37 | 1,25—1,75 | 3,25—3,75 | — | Высоконагружаемые цементуемые шестерни, валки |
| 12Х2Н4 | <0,17 | 0,30—0,60 | 0,17—0,37 | 1,25—1,75 | 3,25—3,75 | — | |
| 12ХН3А | 0,11—0,17 | 0,30—0,60 | 0,17—0,37 | 0,60—0,90 | 2,75—3,25 | — | |
| 12ХН3 | <0,17 | 0,30—0,60 | 0,17—0,37 | 0,60—0,90 | 2,75—3,25 | — | |
| 20ХН3А | 0,17—0,25 | 0,30—0,60 | 0,17—0,37 | 0,60—0,90 | 2,75—3,25 | — | Цементуемые детали с повышенной прочностью сердцевинны |
| 30ХН3А | 0,27—0,35 | 0,30—0,60 | 0,17—0,37 | 0,60—0,90 | 2,75—3,25 | — | Крупные поковки, валы, штоки, криповилы высокой точности |
| 30ХН3 | 0,25—0,35 | 0,30—0,60 | 0,17—0,37 | 0,60—0,90 | 2,75—3,25 | — | |
| 37ХН3А | 0,33—0,41 | 0,25—0,55 | 0,17—0,37 | 1,20—1,60 | 3,00—3,50 | — | |

Примечания: 1. Содержание серы и фосфора в качественной легированной стали $< 0,04\%$ каждого; в высококачественной стали серы $< 0,03\%$, а фосфора $< 0,035\%$.

2. В технически обоснованных случаях по требованию заказчика производится поставка отборной легированной стали:

а) с суженными против указанных в табл. 6—8 пределами колебания содержания углерода до $0,05\%$;

б) с пониженным содержанием S и P до $0,025\%$ каждого элемента для высококачественной стали;

в) с пониженным содержанием меди до $0,2\%$;

г) с определенной величиной зерна, микроструктурой после термической обработки, нормированной чистотой по неметаллическим включениям и с гарантируемой степенью прокаливаемости.

Механические свойства конструкционных сталей общего назначения (к группам 1—6)

Таблица 9

Механические свойства углеродистой стали обыкновенного качества (группа А по ГОСТ 380-50)

| Марка стали | Механические свойства | | | Примерное назначение | Марка стали | Механические свойства | | | Примерное назначение |
|-------------|------------------------------------|---------------------------------|----------------|----------------------------------|-------------|------------------------------------|---------------------------------|----------------|----------------------------------|
| | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | σ_T в кг/мм ² | δ_5 в % | | | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | σ_T в кг/мм ² | δ_5 в % | |
| Ст. 2 | 34—42 | 22 | 31 | См. выше для стали МСт. 2—МСт. 7 | Ст. 6 | 60—63 | 31 | 15 | См. выше для стали МСт. 2—МСт. 7 |
| Ст. 3 | 38—40 | 24 | 27 | | 64—67 | 31 | 14 | | |
| | 41—43 | 24 | 26 | | 68—72 | 31 | 13 | | |
| | 44—47 | 24 | 25 | | 70—74 | — | 11 | | |
| Ст. 4 | 42—44 | 26 | 25 | | 75—79 | — | 10 | | |
| | 45—43 | 26 | 24 | | 80 и более | — | 9 | | |
| | 49—52 | 26 | 23 | | | | | | |
| Ст. 5 | 50—53 | 28 | 21 | | | | | | |
| | 54—57 | 28 | 20 | | | | | | |
| | 58—62 | 28 | 19 | | | | | | |

Таблица 10

Механические свойства качественной конструкционной углеродистой сортовой стали
(по ГОСТ 1050-52)

| Марка стали | Критические точки | | Температура нормализации в °С | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² не менее | σ_T в кг/мм ² не менее | δ_5 в % | ψ в % | Твердость НВ стали | |
|-------------|-------------------|-----------------|-------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|----------------|------------|--------------------|------------|
| | Ас ₁ | Ас ₃ | | | | | | горячекатанной | отожженной |
| | | | | | | | | не менее | |
| 08КП | 732 | 874 | 940 | 32 | 18 | 33 | 60 | 131 | — |
| 10 | 732 | 874 | 930 | 34 | 21 | 31 | 55 | 137 | — |
| 15 | 735 | 863 | 910 | 37 | 22 | 27 | 55 | 143 | — |
| 20 | 735 | 854 | 900 | 41 | 25 | 25 | 55 | 156 | — |
| 25 | 735 | 840 | 880 | 44 | 26 | 23 | 50 | 170 | — |
| 30 | 732 | 813 | 870 | 48 | 29 | 21 | 50 | 179 | — |
| 35 | 730 | 802 | 860 | 52 | 31 | 20 | 45 | 187 | — |
| 40 | 727 | 788 | 840 | 57 | 32 | 19 | 45 | 217 | 197 |
| 45 | 725 | 770 | 820 | 60 | 34 | 16 | 40 | 241 | 207 |
| 50 | 725 | 760 | 810 | 63 | 35 | 14 | 40 | 241 | 217 |
| 55 | 727 | 774 | 810 | 64 | 36 | 12 | 35 | 255 | 229 |
| 60 | 727 | 736 | 810 | 65 | 37 | 10 | 35 | 255 | 229 |
| 65 | 727 | 752 | 810 | 66 | 38 | 10 | 30 | 255 | 229 |
| 70 | 730 | 743 | — | 67 | 39 | 8 | 30 | 259 | 229 |
| 15Г | 735 | 863 | 920 | 40 | 23 | 24 | 55 | 163 | — |
| 20Г | 735 | 854 | 910 | 43 | 25 | 22 | 50 | 197 | — |
| 30Г | 734 | 812 | 880 | 55 | 29 | 15 | 45 | 217 | 187 |
| 40Г | 726 | 790 | 860 | 60 | 33 | 14 | 45 | 229 | 207 |
| 50Г | 720 | 760 | 840 | 65 | 37 | 11 | 40 | 255 | 229 |

Примечание. Приведенные нормы относятся к нормализованной сортовой стали размерами до 80 мм в диаметре или толщине. Для больших размеров допускается снижение удлинения на 2% (абсолютных), снижение сужения площади поперечного сечения на 5% (абсолютных). Механические свойства толстолистовой качественной углеродистой стали указаны в ГОСТ 1577-53.

Таблица 11

Ударная вязкость качественной углеродистой конструкционной сортовой стали после термообработки
(по ГОСТ 1050-52)

| Марка стали | Температура закалки (ориентировочно) в °С | Среда | Температура отпуска (ориентировочно) в °С | Ударная вязкость σ_H в кг/м/с ² не менее | Марка стали | Температура закалки (ориентировочно) в °С | Среда | Температура отпуска (ориентировочно) в °С | Ударная вязкость σ_H в кг/м/с ² не менее |
|-------------|-------------------------------------------|-------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------|-------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| | | | | | | | | | |
| 35У | 880 | . | 600 | 7 | 50У | 840 | . | 600 | 4 |
| 40У | 860 | . | 600 | 6 | 55ГУ | 850 | Масло | 600 | 4 |

* Индексом „У“ маркируется сталь, испытываемая на ударную вязкость.

Таблица 12

Механические свойства качественной конструкционной холодноотянутой (калиброванной) стали (по ГОСТ 1051-50)

| Марка стали | Сталь нагартованная | | | | Сталь отожженная | | | |
|-------------|---------------------------------------|----------------|------------|----------------|---------------------------------------|----------------|------------|----------------|
| | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | δ_2 в % | ψ в % | НБ не более | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | δ_2 в % | ψ в % | НБ не более |
| | не менее | | | | не менее | | | |
| 10 | 42 | 8 | 50 | 187 | 30 | 26 | 55 | 148 |
| 15 | 45 | 8 | 45 | 197 | 35 | 23 | 55 | 149 |
| 20 | 50 | 7,5 | 40 | 207 | 40 | 21 | 50 | 163 |
| 25 | 55 | 7 | 40 | 217 | 42 | 19 | 50 | 170 |
| 30 | 57 | 7 | 35 | 229 | 45 | 17 | 45 | 179 |
| 35 | 60 | 6,5 | 35 | 229 | 48 | 15 | 45 | 187 |
| 40 | 62 | 6 | 35 | 241 | 52 | 14 | 40 | 197 |
| 45 | 65 | 6 | 30 | 241 | 55 | 13 | 40 | 207 |
| 50 | 67 | 6 | 30 | 255 | 57 | 12 | 40 | 217 |
| 15Г | 50 | 7,5 | 40 | 207 | 40 | 21 | 50 | 163 |
| 50Г | 70 | 5,5 | 30 | 269 | 60 | 10 | 35 | 229 |

Примечания: 1. Нормы твердости распространяются на прутки диаметром или толщиной 5 мм и более.

2. Нормы механических свойств для холодноотянутой стали (в состоянии поставки) гарантируются по требованию заказчика.

3. Для производства испытаний на растяжение применяются образцы пятикратной длины диаметром 10 мм. В случае необходимости могут применяться и другие пятикратные образцы (круглые и плоские).

Таблица 13

Механические свойства тонколистовой качественной углеродистой конструкционной стали (по ГОСТ 914-47)

| Марка стали | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | δ_2 в % | | | Марка стали | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | δ_2 в % | | |
|-------------|---------------------------------------|-------------------------|-------|----|-------------|---------------------------------------|-------------------------|-------|----|
| | | при толщине листов в мм | | | | | при толщине листов в мм | | |
| | | 1,5 | 1,5—2 | 2 | | | 1,5 | 1,5—2 | 2 |
| 05 | 23 | 26 | 28 | 30 | 30 | 45—60 | 19 | 20 | 21 |
| 08кп | 28—38 | 26 | 28 | 30 | 35 | 50—65 | 16 | 17 | 18 |
| 08; 10кп | 28—42 | 24 | 26 | 27 | 40 | 52—67 | 15 | 16 | 17 |
| 15кп | 32—45 | 23 | 25 | 26 | 45 | 55—70 | 13 | 14 | 15 |
| 20 | 35—50 | 22 | 23 | 24 | 50 | 55—75 | 11 | 12 | 13 |
| 25 | 40—55 | 21 | 22 | 23 | | | | | |

Таблица 14

Глубина выдавливания в зависимости от толщины листов и назначения тонколистовой стали (по ГОСТ 914-47)

| Толщина листов в мм | Глубина выдавливания в мм для марок стали (не менее) | | | | Толщина листов в мм | Глубина выдавливания в мм для марок стали (не менее) | | | |
|---------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|
| | 05, 08 кп, 08 (для весьма глубокой штамповки — ВГ) | 08, 08кп, 10кп (для глубокой штамповки — Г) | 08, 08кп, 10кп (для нормальной штамповки — Н) | 15 и 20 (для весьма глубокой штамповки — ВГ) | | 05, 08кп, 08 (для весьма глубокой штамповки — ВГ) | 08, 08кп, 10кп (для глубокой штамповки — Г) | 08, 08кп, 10кп (для нормальной штамповки — Н) | 15 и 20 (для весьма глубокой штамповки — ВГ) |
| 0,5 | 9,0 | 8,4 | 8,0 | 7,5 | 1,3 | 11,2 | 10,8 | 10,6 | Не испытываются То же |
| 0,6 | 9,4 | 8,9 | 8,5 | 8,0 | 1,4 | 11,3 | 11,0 | 10,8 | |
| 0,7 | 9,7 | 9,2 | 8,9 | 8,3 | 1,5 | 11,5 | 11,2 | 11,0 | |
| 0,8 | 10,0 | 9,5 | 9,3 | 8,7 | 1,6 | 11,6 | 11,4 | 11,2 | |
| 0,9 | 10,3 | 9,9 | 9,6 | 8,9 | 1,7 | 11,8 | 11,6 | 11,4 | |
| 1,0 | 10,5 | 10,1 | 9,9 | 9,0 | 1,8 | 11,9 | 11,7 | 11,5 | |
| 1,1 | 10,8 | 10,4 | 10,2 | Не испытываются | 1,9 | 12,0 | 11,8 | 11,7 | |
| | | | | То же | 2,0 | 12,1 | 11,9 | 11,8 | |
| 1,2 | 11,0 | 10,6 | 10,4 | | | | | | |

Таблица 15

Механические свойства стальной ленты из низкоуглеродистой стали холодной прокатки
(по ГОСТ 503-41)

| Группа ленты по твердости * | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | δ_5 в % не менее | Группа ленты по твердости | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | δ_5 в % не менее |
|-----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| ОМ | 28—40 | 30 | — ПТ | 42—55 | 4 |
| М | 33—45 | 20 | — Т | 50—80 | Не определяется |
| ПМ | 38—50 | 10 | | | |

* Условные обозначения: ОМ — особо мягкая, М — мягкая, ПМ — полумягкая, ПТ — пониженной твердости, Т — твердая.

Таблица 16

Глубина выдавливания стальной ленты
(по ГОСТ 503-41)

| Толщина ленты в мм | Глубина выдавливания в мм (не менее) для лент шириной | | | | Толщина ленты в мм | Глубина выдавливания в мм (не менее) для лент шириной | | | |
|--------------------|-------------------------------------------------------|-----|--------------|-----|--------------------|-------------------------------------------------------|-----|--------------|------|
| | от 30 до 70 мм | | 70 мм и выше | | | от 30 до 70 мм | | 70 мм и выше | |
| | ОМ | М | ОМ | М | | ОМ | М | ОМ | М |
| 0,20 | 5,2 | 4,2 | 7,5 | 6,8 | 0,80 | 6,9 | 5,9 | 9,6 | 8,7 |
| 0,25 | 5,3 | 4,3 | 7,7 | 7,0 | 0,90 | 7,1 | 6,1 | 9,8 | 9,0 |
| 0,30 | 5,5 | 4,5 | 8,0 | 7,2 | 1,00 | 7,3 | 6,2 | 10,0 | 9,2 |
| 0,35 | 5,7 | 4,7 | 8,2 | 7,4 | 1,20 | 7,7 | 6,7 | 10,5 | 9,6 |
| 0,40 | 5,9 | 4,8 | 8,5 | 7,7 | 1,40 | 8,1 | 7,1 | 10,9 | 10,0 |
| 0,45 | 6,1 | 5,0 | 8,6 | 7,8 | 1,60 | 8,5 | 7,4 | 11,1 | 10,4 |
| 0,50 | 6,2 | 5,1 | 8,8 | 7,9 | 1,80 | 8,9 | 7,8 | 11,5 | 10,7 |
| 0,60 | 6,4 | 5,4 | 9,1 | 8,2 | 2,00 | 9,2 | 8,1 | 11,7 | 10,9 |
| 0,70 | 6,6 | 5,6 | 9,4 | 8,5 | | | | | |

Примечания: 1. Для ленты, изготовленной из стали марки 08, глубина выдавливания увеличивается на 0,3 мм.
2. Ленты толщиной менее 0,20 и более 2 мм, а также ленты групп ПМ, ПТ и Т на выдавливание не испытываются.

Таблица 17

Механические свойства ленты стальной холоднокатанной
(по ГОСТ 2284-43)

| Марка стали | Лента нагартованная | | Лента после низкого отжига | | Марка стали | Лента нагартованная | | Лента после низкого отжига | |
|-------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|-------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | δ_5 в % (факультативно) не менее | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | δ_5 в % не менее | | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | δ_5 в % (факультативно) не менее | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | δ_5 в % не менее |
| 15 | 45—80 | 3 | 32—50 | 22 | 45 | 70—105 | 1,5 | 45—70 | 15 |
| 20 | 50—85 | 2 | 32—55 | 20 | 50 | 75—110 | 1,5 | 45—75 | 13 |
| 25 | 55—90 | 2 | 35—60 | 18 | 55 | 75—110 | 1,5 | 45—75 | 12 |
| 30 | 65—95 | 2 | 40—60 | 16 | 60 | 75—115 | 1,0 | 45—75 | 12 |
| 35 | 65—95 | 2 | 40—65 | 16 | 65 | 75—115 | 1,0 | 45—75 | 10 |
| 40 | 65—100 | 2 | 45—70 | 15 | 70 | 75—115 | 1,0 | 45—75 | 10 |

Таблица 18

Механические свойства проволоки из конструкционной низкоуглеродистой стали (по ГОСТ 1798-49)

| Диаметр проволоки в мм | Предел прочности при растяжении в кг/мм ² для стали марок | | | Число перегибов (на угол 180°) для стали марок | |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------|---------------|------------------------------------------------|---|
| | 08кп | 10; 10кп | 15; 15кп и 20 | 08кп; 10 и 10кп | |
| | | | | 15; 15кп и 20 | |
| | не менее | | | | |
| 0,40—0,70 | 50 | 55 | 60 | — | — |
| 0,80—1,20 | 45 | 50 | 55 | 6 | 6 |
| 1,40—2,50 | 45 | 50 | 55 | 6 | 6 |
| 2,80—3,50 | 40 | 45 | 50 | 6 | 5 |
| 4,00—5,00 | 40 | 45 | 50 | 5 | 4 |
| 5,50—10,00 | 35 | 40 | 45 | 5 | 4 |

Таблица 19

Механические свойства проволоки из конструкционной среднеуглеродистой стали (светлой) (по ГОСТ 1982-50)

| Диаметр проволоки в мм | Предел прочности при растяжении в кг/мм ² для стали марок | | Число перегибов (на угол 180°) для стали марок | |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------|---|
| | 25, 30 и 35 | 40, 45 и 50 | 25, 30 и 35 | |
| | | | 40, 45 и 50 | |
| | не менее | | | |
| 0,3—0,7 | 100 | 110 | См. примечание | |
| 0,8—1,0 | 90 | 100 | 6 | 5 |
| 1,1—2,0 | 80 | 90 | 5 | 4 |
| 2,2—5,0 | 70 | 80 | 3 | 2 |
| 5,5—7,0 | 60 | 70 | 2 | 1 |

Примечание. Вместо испытания на перегиб производится испытание на разрыв с узлом. Разрывная сила должна быть не менее половины указанного в таблице предела прочности.

Таблица 20

Состав и механические свойства отливок из углеродистой стали (по ГОСТ 977-53)

| Марка стали | Химический состав в % | | | σ_T в кг/мм ² | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | δ_5 в % | ψ в % | a_K в кг/м.с.м ² |
|-------------|-----------------------|-----------|-----------|---------------------------------|------------------------------------|----------------|------------|-------------------------------|
| | С | Mn | Si | | | | | |
| | | | | не менее | | | | |
| 15Л | 0,12—0,20 | 0,35—0,65 | 0,17—0,37 | 20 | 40 | 24 | 35 | 5,0 |
| 20Л | 0,17—0,25 | 0,35—0,65 | 0,17—0,37 | 22 | 42 | 23 | 35 | 5,0 |
| 25Л | 0,22—0,30 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | 24 | 45 | 19 | 30 | 4,0 |
| 30Л | 0,27—0,35 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | 26 | 48 | 17 | 30 | 3,5 |
| 35Л | 0,32—0,40 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | 28 | 50 | 15 | 25 | 3,5 |
| 40Л | 0,37—0,45 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | 30 | 53 | 14 | 25 | 3,0 |
| 45Л | 0,42—0,50 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | 32 | 55 | 12 | 20 | 3,0 |
| 50Л | 0,47—0,55 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | 34 | 58 | 11 | 20 | 2,5 |
| 55Л | 0,52—0,60 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | 35 | 60 | 10 | 18 | 2,5 |

Примечания: 1. Механические свойства, указанные в табл. 20, соответствуют отожженным или нормализованным отливкам.

2. Определение предела прочности и относительного удлинения является обязательным для отливок повышенного и особого качества (группы 2 и 3). По требованию потребителя, оговоренному в заказе, для отливок нормального качества (группа 1) могут дополнительно проводиться испытания с определением предела текучести, относительного удлинения. Для отливок групп 2 и 3, кроме того, могут проводиться испытания на определение предела текучести, относительного сужения и ударной вязкости, а также специальные испытания. При этом нормы относительного сужения и удлинения для отливок группы 3 могут быть повышены на 20% (относительных).

3. Содержание серы и фосфора зависит от группы отливок по качеству и от способа производства стали. Так, для основного мартеновского процесса для отливок группы 1 допускается до 0,06% S и до 0,06% P, а для групп 2 и 3 до 0,045% S и до 0,04% P. Для кислого мартеновского процесса содержание серы и фосфора несколько выше.

Таблица 21

Механические свойства поковок из углеродистой стали (по ГОСТ 2335-50)

| Класс поковок | Вид термической обработки | Марка стали | Максимальный диаметр поковки в мм | Показатели механических свойств | | | | | Твердость | |
|---------------|---------------------------|-------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|----------------|------------|-------------------------------|-------------|---------------|
| | | | | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | σ_T в кг/мм ² | δ_5 в % | ψ в % | a_K в кг/м.с.м ² | НВ не более | d мм не менее |
| | | | | | | | | | | |
| I | Нормализация | 15 | 100 100—300 300—500 | 35 | 20 | 27 | 55 | 6,5 | 143 | 5,0 |
| | | | | 34 | 17 | 25 | 50 | 6,0 | | |
| | | | | 33 | 15 | 24 | 45 | 5,5 | | |

Продолжение табл. 21

| Класс поковок | Вид термической обработки | Марка стали | Максимальный диаметр поковки в мм | Показатели механических свойств | | | | | | Твердость | |
|---------------|---------------------------|-------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|----------------|------------|----------------------------|----------------|-----------------|--|
| | | | | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | σ_T в кг/мм ² | δ_5 в % | ψ в % | a_K в кг/см ² | H_B не более | d мм не менее | |
| | | | | | | | | | | | |
| II | Нормализация | 20 | 100 | 40 | 22 | 24 | 53 | 5,5 | 156 | 4,8 | |
| | | | 100—300 | 38 | 20 | 23 | 50 | 5,0 | | | |
| | | | 300—500 | 37 | 19 | 22 | 45 | 5,0 | | | |
| | | | 500—750 | 36 | 18 | 20 | 40 | 4,5 | | | |
| III | Нормализация | 25 | 100 | 43 | 24 | 22 | 50 | 5,0 | 170 | 4,6 | |
| | | | 100—300 | 40 | 22 | 20 | 48 | 4,0 | | | |
| | | | 300—500 | 48 | 25 | 19 | 48 | 4,0 | | | |
| | | | 500—750 | 47 | 24 | 19 | 46 | 3,5 | | | |
| IV | Нормализация | 30 | 100 | 46 | 23 | 18 | 40 | 3,5 | 179 | 4,5 | |
| | | | 100—300 | 46 | 23 | 18 | 40 | 3,5 | | | |
| | | | 300—500 | 45 | 22 | 17 | 35 | 3,0 | | | |
| | | | 500—750 | 45 | 22 | 17 | 35 | 3,0 | | | |
| V | Нормализация | 35 | 100 | 52 | 27 | 18 | 43 | 3,5 | 187 | 4,4 | |
| | | | 100—300 | 50 | 26 | 18 | 40 | 3,0 | | | |
| | | | 300—500 | 48 | 24 | 17 | 37 | 3,0 | | | |
| | | | 500—750 | 46 | 23 | 16 | 32 | 2,5 | | | |
| VI | Нормализация | 40 | 100 | 56 | 28 | 17 | 40 | 3,0 | 207 | 4,2 | |
| | | | 100—300 | 54 | 27 | 17 | 36 | 3,0 | | | |
| | | | 300—500 | 52 | 26 | 16 | 32 | 2,5 | | | |
| | | | 500—750 | 50 | 25 | 15 | 30 | 2,5 | | | |
| VII | Нормализация | 45 | 100 | 60 | 30 | 15 | 38 | 3,0 | 217 | 4,1 | |
| | | | 100—300 | 58 | 29 | 15 | 35 | 2,5 | | | |
| | | | 300—500 | 56 | 28 | 14 | 32 | 2,5 | | | |
| | | | 500—750 | 54 | 27 | 13 | 30 | 2,0 | | | |
| VIII | Нормализация | 50 | 100 | 62 | 32 | 13 | 35 | 3,0 | 229 | 4,0 | |
| | | | 100—300 | 60 | 30 | 12 | 33 | 2,5 | | | |
| | | | 300—500 | 58 | 29 | 12 | 30 | 2,5 | | | |
| | | | 500—750 | 58 | 29 | 12 | 30 | 2,5 | | | |
| IX | Нормализация | 55 | 100 | 66 | 33 | 12 | 30 | 3,0 | 229 | 4,0 | |
| | | | 100—300 | 64 | 32 | 11 | 28 | 2,5 | | | |
| | | | 300—500 | 62 | 31 | 10 | 25 | 2,5 | | | |
| | | | 500—750 | 62 | 31 | 10 | 25 | 2,5 | | | |
| X | Нормализация | 60 | 100 | 65 | 35 | 10 | 28 | — | 229 | 4,0 | |

Примечания: 1. Приведенные данные распространяются на поковки диаметром или стороной квадрата до 750 мм и весом не более 50 т и для прочих профилей поковок с площадью поперечного сечения не свыше 5600 см².

2. На торцах поковок не должно быть дефектов, видимых невооруженным глазом: усадочной рыхлости, пузырей, расслоений, трещин, неметаллических включений.

3. При изготовлении поковок из слитков уковка должна быть не менее 3 при ковке без осадки, 2,5 при ковке с осадкой, считая по сечению основного тела, и не менее 1,75, считая по сечению фланцев. При изготовлении поковок из заготовок уковка должна быть не менее 1,5 по основному телу и не менее 1,3 по фланцам.

4. В зависимости от назначения поковки могут быть подвергнуты отжигу или нормализации с последующим обязательным отпуском для сечений диаметром более 400 мм. В необходимых случаях допускается закалка с обязательным последующим высоким отпуском.

5. Поковки должны представляться к механическим испытаниям выправленными. Правка может производиться по усмотрению поставщика как с предварительным подогревом, так и без него. Для поковок, подвергавшихся правке после механических испытаний, температура отпуска для снятия напряжений должна быть ниже температуры, приводящей к снижению механических свойств.

6. В процессе механической обработки допускается незначительная правка поковок в холодном состоянии без отпуски для снятия напряжений, если стрела прогиба не превышает 1 мм на 1 пог. м.

7. Образцы для механических испытаний поковок цилиндрической формы вырезаются из припусков на расстоянии 1/3 радиуса от поверхности сплошной поковки или 1/2 толщины пустотелой или рассверленной поковки. Пригодность поковок определяется по минимальным значениям отдельных испытаний механических свойств.

8. Нормы $\sigma_{вр}$, σ_T , δ , ψ , a_K для радиальных и тангенциальных образцов уменьшаются против норм, предусмотренных таблицей для продольных образцов, на следующие величины: для образцов радиальных $\sigma_{вр}$ и σ_T на 10%; δ на 35%; ψ на 35%; a_K на 40%; тангенциальных $\sigma_{вр}$ и σ_T на 5%; δ на 25%; ψ на 20%; a_K на 25%.

Таблица 22

Механические свойства углеродистых сталей при повышенных температурах *

| Марка стали | $\sigma_{вр}$ при 20°С | σ_T в кг/мм ² при температуре в °С | | | | | | | | $\sigma_{пл}$ в 10 ⁻⁷ %/час при температуре в °С** | | | | |
|-------------|------------------------|------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|---------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| | | 20 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 400 | 425 | 450 | 475 | 500 |
| 10 | 32—42 | 18 | 16 | 15 | 13,5 | 11,5 | 10 | 8 | 6 | 10 | 7,5 7,1 | 5,4 4,9 | 3,7 3,1 | 2,6 1,9 |
| МСт. 2 | 34—42 | 18 | 16 | 15 | 13,5 | 11,5 | 10 | 8 | 6 | | | | | |
| 15 | 35—45 | 20 | 17,5 | 16,5 | 14,5 | 12,5 | 11 | 9 | 7 | | | | | |
| МСт. 3 | 38—47 | 21 | 18 | 17 | 15 | 13 | 11 | 9 | 7 | 11 | 8,0 7,7 | 6,0 5,3 | 4,2 3,7 | 3,2 2,5 |
| 20 | 40—50 | 22 | 19 | 17,5 | 15,5 | 13,5 | 12 | 10 | 8 | 12 | 8,6 | 6,3 | 4,5 | 3,2 |
| МСт. 4 | 42—50 | 23 | 19,5 | 18 | 16 | 14 | 12,5 | 10 | 8 | | | | | |
| 25 | 43—55 | 24 | 20,5 | 18,5 | 16,5 | 14,5 | 13 | 11 | 9 | 12,5 | 9,2 | 6,5 | 4,6 | 3,2 |
| 30 | 48—60 | 26 | 22 | 20 | 17,5 | 15,5 | 13,5 | 11,5 | 9,5 | 13 | 9,5 | 6,7 | 4,7 | 3,2 |
| 35 | 52—65 | 28 | 24 | 21,5 | 19 | 17 | 14,5 | 12,5 | 10,5 | — | — | — | — | — |

Примечание. Указанные свойства относятся к прокату и поковкам. Для качественного отожженного литья свойства на 10—15% меньше.

* Котельные установки, Госэнергоиздат, т. II, 1946, стр. 388.

** Над чертой — для спокойной стали, под чертой — для кипящей стали.

Таблица 23

Механические свойства легированной конструкционной стали общего назначения (по ГОСТ 4543-48) (группы 4—6, см. табл. 6—8)

| Марка стали | Критические точки в °С | | Температура отжига в °С | Твердость после отжига НВ не более | Закалка | | | Отпуск | | Механические свойства | | | | | | | | |
|-------------|------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------------------------|---------------------------------|----------------|------------|----------------------------|--|--|--|--|
| | Ac ₁ | Ac ₃ | | | Температура перовой закали в °С | Температура второй закали в °С | Среда охлаждения | Температура в °С | Среда охлаждения | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | σ_T в кг/мм ² | δ_2 в % | ψ в % | a_k в кг/мм ² | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| не менее | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Сталь средней прокаливаемости (группа 4)

Марганцовистая сталь *

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|-----|-----|---|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10Г2 | 720 | 830 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 30Г2 | 718 | 804 | — | 207 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 35Г2 | 713 | 794 | — | 207 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 45Г2 | 713 | 766 | — | 229 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

Хромистая сталь

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------|-----|-----|---------|-----|-----|-----|----------------|-----|----------------|-----|----|----|----|---|
| 15Х | 735 | 870 | 880—900 | 179 | 860 | 780 | Вода | 200 | Воздух | 70 | 50 | 10 | 45 | 7 |
| 15ХА | — | — | — | — | 860 | 780 | " | 200 | " | 70 | 50 | 11 | 50 | 8 |
| 20Х | 736 | 838 | 860 | 179 | 860 | — | Вода или масло | 200 | " | 80 | 60 | 10 | 40 | 6 |
| 30Х | 740 | 815 | 860 | 187 | 860 | — | Масло | 500 | Вода или масло | 90 | 70 | 11 | 45 | 6 |
| 35Х | 740 | 815 | 860 | 197 | 860 | — | " | 500 | То же | 95 | 75 | 10 | 45 | 6 |
| 38ХА | — | — | — | 207 | 860 | — | " | 550 | " | 95 | 80 | 12 | 50 | 9 |
| 40Х | 743 | 782 | 850 | 217 | 850 | — | " | 500 | " | 100 | 80 | 9 | 45 | 6 |
| 45Х | 721 | 771 | 840 | 219 | 840 | — | " | 500 | " | 105 | 85 | 8 | 40 | 5 |
| 50Х | 721 | 771 | 830 | 229 | 830 | — | " | 500 | " | 110 | 90 | 8 | 40 | 4 |

* По ГОСТ 1050-52.

Продолжение табл. 23

| Марка стали | Критические точки в °С | | Температура отжига в °С | Твердость после отжига НВ не более | Закалка | | | Отпуск | | Механические свойства | | | | |
|----------------------------------------------------|------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------|------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|-------|-------------------------------------|
| | Ac ₁ | Ac ₃ | | | Температура первой закали в °С | Температура второй закали в °С | Среды охлаждения | Температура в °С | Среды охлаждения | σ _{вр} в кг/мм ² | σ _T в кг/мм ² | δ ₅ в % | ψ в % | α _K в кг/мм ² |
| <i>Хромокремнистая сталь</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| 33ХС | 760 | 860 | — | — | 920 | — | Вода или масло | 630 | Вода или масло | 85 | 65 | 13 | 50 | 6 |
| 40ХС | 755 | 850 | — | — | 900 | — | Масло | 540 | Масло | 125 | 105 | 12 | 40 | 5 |
| <i>Хромованадиевая сталь</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| 15ХФ | — | — | — | 187 | 860 | 780 | Вода | 200 | Воздух | 75 | 55 | 12 | 50 | 8 |
| 20ХФ | — | — | — | 197 | 880 | — | Вода или масло | 500 | Вода или масло | 80 | 60 | 12 | 50 | 8 |
| 40ХФА | 754 | 790 | — | 241 | 880 | — | Масло | 650 | То же | 90 | 75 | 10 | 50 | 9 |
| <i>Сталь повышенной прокаливаемости (группа 5)</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Сталь никельмолибденовая</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| 15НМ | — | — | 860 | 197 | 860 | 780 | Масло | 200 | Воздух | 85 | 65 | 11 | 50 | 8 |
| <i>Хромоникелевая сталь</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| 12ХН2 | 732 | 794 | — | 207 | 860 | 780 | Масло или вода | 200 | Вода или масло | 80 | 60 | 12 | 50 | 8 |
| 12ХН2А | 732 | 794 | — | 207 | 860 | 780* | То же | 200 | То же | 80 | 60 | 12 | 50 | 9 |
| 20ХН | 733 | 804 | — | 197 | 840 | — | Вода или масло | 500 | " | 80 | 60 | 10 | 50 | 8 |
| 40ХН | 731 | 769 | — | 207 | 820 | — | Масло | 500 | " | 100 | 80 | 10 | 45 | 7 |
| 45ХН | — | — | — | 207 | 820 | — | " | 530 | " | 100 | 80 | 10 | 45 | 7 |
| 50ХН | 735 | 750 | — | 207 | 820 | — | " | 500 | " | 110 | 85 | 8 | 40 | 5 |
| <i>Хромоникельмолибденовая сталь</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| 40ХНМА | — | — | — | 269 | 850 | — | Масло | 600 | Вода или масло | 100 | 85 | 12 | 55 | 10 |
| <i>Хромомарганцевая сталь</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| 20ХГ | — | — | — | 187 | 860 | — | Масло | 180 | Воздух | 80 | 60 | 12 | 50 | — |
| 35ХГ2 | — | — | — | 229 | 870 | — | " | 600 | Вода | 85 | 70 | 12 | 45 | 8 |
| <i>Хромомарганцевокремнистая сталь</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| 20ХГС | 755 | 840 | — | 207 | 830 | — | Масло | 500 | Вода или масло | 80 | 60 | 10 | 40 | 6 |
| 30ХГС | 750 | 830 | — | 229 | 880 | — | " | 520 | То же | 110 | 85 | 10 | 45 | 4,5 |
| 30ХГСА | — | — | — | 241 | 880 | — | " | 520 | " | 110 | 85 | 10 | 45 | 5 |
| 35ХГСА | — | — | — | — | 880 | — | Масло или изотермическая за-калка в се-литру при 280—310°С | 550 | " | 165 | 130 | 9 | 40 | 6 |

Продолжение табл. 23

| Марка стали | Критические точки в °С | | Температура отжига в °С | Твердость после отжига НВ не более | Закалка | | | Отпуск | | Механические свойства | | | | |
|-----------------------------------------------------------|------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------|------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|-------|-------------------------------------|
| | Ac ₁ | Ac ₃ | | | Температура первой закалки в °С | Температура второй закалки в °С | Средне-охлаждения | Температура в °С | Средне-охлаждения | σ _{вр} в кг/мм ² | σ _T в кг/мм ² | δ ₅ в % | ψ в % | а _H в кг/см ² |
| <i>Хромомolibденовая сталь</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| 20ХМ | 743 | 818 | — | 197 | 880 | — | Вода или масло | 500 | Вода или масло | 80 | 60 | 12 | 50 | 9 |
| 30ХМ | 757 | 807 | — | 229 | 880 | — | Масло | 560 | То же | 95 | 75 | 11 | 45 | 8 |
| 30ХМА | — | — | — | — | 880 | — | — | 560 | — | 95 | 75 | 12 | 50 | 9 |
| 35ХМ | 745 | 820 | — | 240 | 850 | — | — | 560 | — | 95 | 80 | 11 | 45 | 7 |
| 35ХМА | — | — | — | — | 850 | — | — | 560 | — | 95 | 80 | 12 | 50 | 8 |
| 35Х2МА | 715 | 776 | — | — | 870 | — | — | 620 | — | 105 | 90 | 8 | 45 | 8 |
| <i>Хромоалюминиевая и хромомolibденоалюминиевая сталь</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| 35ХЮА | — | — | — | 229 | 940 | — | Теплая вода или масло | 650 | Вода или масло | 95 | 75 | 10 | 50 | 8 |
| 38ХМЮА | — | — | — | 229 | 940 | — | То же | 650 | То же | 100 | 85 | 15 | 50 | 9 |
| <i>Сталь высокой прокаливаемости (группа Б)</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| 12Х2Н3МА | — | — | — | 269 | 860 | — | Масло | 180 | Вода или масло | 100 | 80 | 9 | 50 | 9 |
| 18Х2Н4МА (18ХНМА) | — | — | — | 269 | 950 | 850 | Воздух | 200 | Воздух | 115 | 85 | 10 | 45 | 10 |
| 18ХНВА | 700 | 810 | — | 269 | 950 | 850 | — | 160 | — | 115 | 85 | 12 | 50 | 10 |
| 25ХНВА | 700 | — | — | 269 | 850 | — | Масло | 560 | Масло | 110 | 95 | 11 | 45 | 9 |
| 12Х2Н4А | 710 | 820 | — | 269 | 880 | 780 | — | 200 | Воздух | 110 | 85 | 10 | 50 | 9 |
| 12Х2Н4 | — | — | — | 269 | 880 | 780 | — | 200 | — | 110 | 85 | 10 | 50 | 8 |
| 12ХН3А | 715 | 830 | — | 217 | 860 | 780 | — | 150 | Вода или масло | 95 | 70 | 11 | 55 | 9 |
| 30ХН3 | 715 | 775 | — | 241 | 820 | — | — | 530 | То же | 100 | 80 | 9 | 45 | 8 |
| 37ХН3А | 710 | 770 | — | 269 | 820 | — | — | 530 | — | 115 | 100 | 10 | 50 | 6 |

Б. Сталь специализированного назначения

Таблица 24

Группа 7. Сталь для железнодорожного транспорта

| Марка стали | Химический состав в % | | | | | Примерное назначение |
|-------------------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------------|---------|--------------------------------------|
| | С | Мп | Si | Cr | Ni | |
| Осевая сталь | 0,30—0,45 | 0,50—0,90 | 0,15—0,35 | Не определяется | | Оси вагонов и тендеров |
| Осевая сталь | 0,35—0,45 | 0,50—0,80 | 0,15—0,35 | 0,30 | 0,50 | Оси локомотивов |
| 45Г2 | 0,40—0,50 | 1,40—1,80 | 0,17—0,37 | До 0,30 | До 0,30 | Оси паровозные, вагонные, трамвайные |
| Бандажная I | 0,50—0,65 | 0,60—0,90 | 0,15—0,35 | Не определяется | | Для пассажирских локомотивов |
| Бандажная II | 0,55—0,70 | 0,60—0,90 | 0,15—0,35 | — | — | Для вагонов |
| Бандажная III | 0,60—0,75 | 0,60—0,90 | 0,15—0,35 | — | — | Для тендеров |
| Бандажная IV | 0,65—0,80 | 0,50—0,80 | 0,15—0,35 | — | — | Ведущие бандажи товарных локомотивов |
| М-67* | 0,60—0,75 | 0,60—0,90 | 0,13—0,28 | — | — | Рельсы |
| Б56* | 0,48—0,65 | 0,6—1,0 | 0,15—0,30 | — | — | — |

* По ГОСТ 7521-55.

Таблица 25

Группа 8. Сталь качественная рессорно-пружинная (по ГОСТ 2052-53)

| Марка стали | Химический состав в % | | | | | | Примерное назначение | |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| | C | Mn | Si | Cr | Ni | Другие легирующие элементы | | |
| 65 * | 0,60—0,70 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | ≤ 0,30 | ≤ 0,30 | — | Пружины механизмов и машин | |
| 65Г * | 0,60—0,70 | 0,90—1,20 | 0,17—0,37 | ≤ 0,30 | ≤ 0,30 | — | | |
| 70 * | 0,65—0,75 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | ≤ 0,30 | ≤ 0,30 | — | | |
| 75 | 0,72—0,80 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | ≤ 0,30 | ≤ 0,30 | — | | |
| 85 | 0,82—0,90 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | ≤ 0,30 | ≤ 0,30 | — | | |
| 55ГС | 0,52—0,60 | 0,60—0,90 | 0,50—0,80 | ≤ 0,30 | ≤ 0,40 | — | | |
| 50ХГ | 0,46—0,54 | 0,70—1,00 | 0,17—0,37 | 0,90—1,20 | ≤ 0,40 | — | | |
| 50ХГА | 0,46—0,54 | 0,80—1,00 | 0,17—0,37 | 0,95—1,20 | ≤ 0,40 | — | | |
| 55С2 | 0,52—0,60 | 0,60—0,90 | 1,50—2,00 | ≤ 0,30 | ≤ 0,40 | — | | Рессоры автомашин |
| 60С2А | 0,56—0,64 | 0,60—0,90 | 1,60—2,00 | ≤ 0,30 | ≤ 0,40 | — | | |
| 63С2А | 0,60—0,65 | 0,60—0,90 | 1,8—2,2 | ≤ 0,30 | ≤ 0,40 | — | | |
| 50ХФА | 0,46—0,54 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | 0,80—1,10 | ≤ 0,40 | V 0,10—0,20 | Пружины особо ответственного назначения; рессоры легковых автомобилей | |
| 45ХНМФА** | 0,42—0,50 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | 0,80—1,10 | 1,30—1,80 | Mo 0,20—0,30 V 0,10—0,20 | Крупные клапанные пружины, торсионные валики | |
| 60С2ХА | 0,56—0,64 | 0,40—0,70 | 1,40—1,80 | 0,70—1,00 | ≤ 0,40 | — | Крупные пружины ответственного назначения | |
| 60С2ХФА | 0,56—0,64 | 0,40—0,70 | 1,40—1,80 | 0,9—1,2 | ≤ 0,40 | V 0,10—0,20 | | |
| 65С2ВА | 0,61—0,69 | 0,70—1,00 | 1,50—2,00 | ≤ 0,30 | ≤ 0,40 | W 0,80—1,20 | | |
| 60С2Н2А | 0,56—0,64 | 0,40—0,70 | 1,40—1,80 | ≤ 0,30 | 1,40—1,70 | — | | |
| У7 — У12 У7А — У12А | Химический состав указан в табл. 36, раздел „Инструментальная сталь“ (по ГОСТ 1435-54) | | | | | | | Пружины для приборов и механизмов (часы, патефоны и т. п.) |

* По ГОСТ 1050-52.

** По ГОСТ 4543-48.

Механические свойства сталей группы 8

Таблица 26

Механические свойства рессорно-пружинной горячекатанной стали (по ГОСТ 2052- 53)

| Марка стали | Критические точки в °С | | Механические свойства после термической обработки | | | | | |
|-------------|------------------------|-----------------|---------------------------------------------------|-------------|---------------------------------------|------------------------------------|-------------------|------------|
| | Ac ₁ | Ac ₂ | Термическая обработка | | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | σ_T в кг/мм ² | δ_5 в % | ψ в % |
| | | | Закалка в °С | Отпуск в °С | | | | |
| 65 | 727 | 752 | 840 | 480 | 100 | 80 | 9 | 35 |
| 65Г | — | — | 830 | 480 | 100 | 80 | 8 | 30 |
| 70 | 730 | 743 | 830 | 480 | 105 | 85 | 8 | 30 |
| 75 | 730 | — | 820 | 480 | 110 | 90 | 7 | 30 |
| 85 | 730 | — | 820 | 480 | 115 | 100 | 6 | 30 |
| 55ГС | — | — | 820 | 480 | 100 | 80 | 8 | 30 |
| 55С2А | 775 | 840 | 870 | 460 | 130 | 120 | 6 | 30 |
| 60С2 | 750 | 820 | 870 | 460 | 130 | 120 | 5 | 25 |
| 63С2А | 750 | 820 | 870 | 460 | 160 | 140 | 5 | 20 |

| Марка стали | Критические точки в °С | | Механические свойства после термической обработки | | | | | |
|-------------|------------------------|-----------------|---------------------------------------------------|-------------|---------------------------------------|------------------------------------|-------------------|------------|
| | Ac ₁ | Ac ₃ | Термическая обработка | | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | σ_T в кг/мм ² | δ_5 в % | ψ в % |
| | | | Закалка в °С | Отпуск в °С | | | | |
| 50ХГ | 750 | 775 | 840 | 490 | 130 | 110 | 5 | 35 |
| 50ХГА | 750 | 775 | 840 | 490 | 130 | 120 | 6 | 35 |
| 50ХФА | — | — | 850 | 520 | 130 | 110 | 10 | 45 |
| 60С2ХА | — | — | 870 | 420 | 180 | 160 | 5 | 20 |
| 60С2ХФА | — | — | 850 | 410 | 190 | 170 | 5 | 20 |
| 60С2ВА | — | — | 850 | 420 | 190 | 170 | 5 | 20 |
| 60С2Н2А | — | — | 850 | 420 | 175 | 160 | 5 | 20 |

Таблица 27

Механические свойства стальной углеродистой пружинной проволоки (по ГОСТ 5047-49)

| Диаметр проволоки в мм | Класс Н* | | | Класс П* | | | Класс В* | | | |
|------------------------|---------------------------------------|-------------------|------------|---------------------------------------|-------------------|------------|------------|---------------------------------------|-------------------|------------|
| | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | Число скручиваний | | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | Число скручиваний | | | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | Число скручиваний | |
| | | 1-я группа | 2-я группа | | 1-я группа | 2-я группа | 3-я группа | | 1-я группа | 2-я группа |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | не менее | | | | | | |
| 0,2 | 170 | 27 | 21 | 220 | 26 | 23 | 21 | 265 | 30 | 23 |
| 0,22 | 170 | 25 | 20 | 220 | 25 | 22 | 20 | 265 | 29 | 22 |
| 0,25 | 170 | 25 | 19 | 220 | 25 | 22 | 20 | 265 | 27 | 21 |
| 0,28 | 170 | 24 | 18 | 220 | 24 | 21 | 19 | 265 | 26 | 20 |
| 0,3 | 170 | 23 | 18 | 220 | 23 | 20 | 18 | 265 | 23 | 19 |
| 0,35 | 170 | 22 | 17 | 220 | 22 | 19 | 17 | 265 | 22 | 17 |
| 0,4 | 170 | 21 | 16 | 220 | 21 | 18 | 16 | 265 | 20 | 16 |
| 0,45 | 170 | 20 | 15 | 220 | 20 | 17 | 15 | 265 | 17 | 14 |
| 0,5 | 170 | 19 | 15 | 220 | 19 | 16 | 14 | 265 | 16 | 12 |
| 0,55 | 170 | 19 | 14 | 220 | 19 | 16 | 14 | 265 | 16 | 12 |
| 0,6 | 170 | 18 | 14 | 210 | 18 | 15 | 13 | 265 | 16 | 12 |
| 0,7 | 160 | 18 | 14 | 210 | 18 | 15 | 13 | 260 | 16 | 12 |
| 0,8 | 160 | 18 | 14 | 200 | 17 | 14 | 12 | 260 | 16 | 12 |
| 0,9 | 155 | 16 | 14 | 200 | 17 | 14 | 11 | 255 | 16 | 12 |
| 1,0 | 155 | 16 | 14 | 195 | 17 | 14 | 11 | 250 | 16 | 12 |
| 1,1 | 150 | 16 | 14 | 195 | 17 | 14 | 11 | 240 | 16 | 12 |
| 1,2 | 150 | 16 | 14 | 190 | 17 | 14 | 11 | 240 | 16 | 12 |
| 1,3 | 150 | 16 | 14 | 190 | 17 | 14 | 11 | 230 | 16 | 12 |
| 1,4 | 145 | 16 | 14 | 190 | 17 | 14 | 11 | 230 | 16 | 12 |
| 1,5 | 140 | 16 | 14 | 190 | 17 | 14 | 11 | 220 | 16 | 12 |
| 1,6 | 140 | 16 | 14 | 185 | 17 | 14 | 11 | 220 | 16 | 12 |
| 1,8 | 140 | 16 | 14 | 180 | 17 | 14 | 11 | 210 | 15 | 11 |
| 2,0 | 130 | 16 | 14 | 175 | 16 | 14 | 11 | 200 | 14 | 11 |
| 2,2 | 130 | 14 | 12 | 170 | 15 | 12 | 10 | 190 | 13 | 10 |
| 2,5 | 130 | 14 | 12 | 165 | 15 | 12 | 10 | 180 | 12 | 9 |
| 2,8 | 120 | 13 | 10 | 160 | 14 | 11 | 9 | 175 | 11 | 8 |
| 3,0 | 120 | 12 | 9 | 155 | 13 | 10 | 8 | 170 | 10 | 6 |

* Условные обозначения: Н — нормальной прочности, П — повышенной прочности, В — высокой прочности.

Продолжение табл. 27

| Диаметр проволоки в мм | Класс Н | | | Класс П | | | Класс В | | | |
|---------------------------|---------------------------------------|----------------------|---------------|---------------------------------------|----------------------|---------------|---------------|---------------------------------------|----------------------|---------------|
| | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | Число скручиваний | | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | Число скручиваний | | | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | Число скручиваний | |
| | | 1-я группа | 2-я группа | | 1-я группа | 2-я группа | 3-я группа | | 1-я группа | 2-я группа |
| | не менее | | | | | | | | | |
| 3,5 | 120 | 12 | 9 | 150 | 13 | 10 | 8 | 165 | 8 | 5 |
| 4,0 | 110 | 12 | 9 | 145 | 13 | 10 | 7 | 160 | 6 | 4 |
| 4,5 | 110 | 12 | 8 | 140 | 12 | 9 | 6 | 150 | 6 | 4 |
| 5,0 | 100 | 9 | 7 | 130 | 9 | 7 | 4 | 150 | 4 | 2 |
| 5,5 | 100 | 6 | 4 | 125 | 6 | 4 | 2 | 140 | 4 | 2 |
| 6,0 | 100 | 4 | 2 | 120 | 4 | 2 | 2 | 140 | 2 | 1 |
| 7,0 | 95 | — | — | 120 | — | — | — | — | — | — |
| 8,0 | 95 | — | — | 120 | — | — | — | — | — | — |

Таблица 28

Механические свойства ленты пружинной холоднокатанной термически обработанной (закалка и отпуск) * (по ГОСТ 2614-55)

| Группа прочности | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | δ^{**} в % не менее | Твердость Н _П |
|------------------|------------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 1П | 130—160 | 4,0 | 375—435 |
| 2П | 161—190 | 3,0 | 486—600 |
| 3П | >190 | 2,5 | >600 |

* Лента должна изготавливаться из стали марок У8А, У9А, У10А, У11А У12А по ГОСТ 1435-54, 65Г по ГОСТ 1050-52, 60С2А по ГОСТ 2052-53 и Х05 по ГОСТ 5950-51 (см. табл. 36).
 ** Расчетная длина образца 200 мм.

Таблица 29

Группа 9. Сталь повышенной обрабатываемости резанием
Автоматная сталь (по ГОСТ 1414-54)

| Марка стали | Химический состав в % | | | | Примерное назначение |
|-------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | С | Мп | S | P | |
| A12 | 0,08—0,16 | 0,6—0,9 | 0,03—0,20 | 0,08—0,15 | Винты, болты, гайки. Сложные и трудные в обработке детали швейных, текстильных, счетных, пишущих и тому подобных машин Трудные в обработке детали, работающие при более высоких напряжениях и повышенных давлениях. С повышением содержания углерода прочность возрастает, вязкость понижается. |
| A20 | 0,15—0,25 | 0,6—0,9 | 0,03—0,15 | ≤ 0,05 | |
| A30 | 0,25—0,35 | 0,7—1,0 | 0,03—0,15 | ≤ 0,05 | |
| A40Г | 0,35—0,45 | 1,20—1,55 | 0,18—0,30 | ≤ 0,05 | |

Примечание. Содержание кремния 0,15 — 0,35%.

Таблица 30

Группа 10. Сталь износостойчивая

| Марка стали | Химический состав в % | | | | | | Примерное назначение |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------|-----------|-----------|-----------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | C | Mn | Si | Cr | Ni | Другие легирующие элементы | |
| <i>Сталь шарикоподшипниковая, устойчивая, против трения качения по металлу при больших давлениях</i> (по химическому составу, структуре, обработке и свойствам относится к классу инструментальной стали) | | | | | | | |
| ШХ6* | 1,05—1,15 | 0,2—0,4 | 0,15—0,35 | 0,4—0,7 | ≤ 0,30 | — | Шарики, ролики, кольца диаметром до 10 мм |
| ШХ9* | 1,0—1,1 | 0,2—0,4 | 0,15—0,35 | 0,9—1,2 | ≤ 0,30 | — | Шарики, ролики диаметром до 18 мм |
| ШХ15* | 0,95—1,1 | 0,2—0,4 | 0,15—0,35 | 1,3—1,65 | ≤ 0,30 | — | Шарики, ролики диаметром более 18 мм и кольца |
| ЭИ161** | 0,5—0,6 | 0,3—0,6 | 0,15—0,35 | 6,5—7,5 | W 6,5—7,5 | Mo 0,2—0,4 V до 0,3 | Шарико- и роликоподшипники, работающие при повышенных температурах |
| ЭИ229 | 0,9—1,0 | ≤ 0,7 | ≤ 0,8 | 17,0—19,0 | Ni ≤ 0,6 | — | Шарико- и роликоподшипники, работающие в воде и влажной атмосфере |
| <i>Сталь, устойчивая в условиях абразивного трения</i> | | | | | | | |
| Г13 | 0,9—1,4 | 11—14 | 0,20—0,60 | До 0,2 | ≤ 0,2 | — | Детали, испытывающие трение со значительными удельными давлениями (ковши землечерпалок, щеки камнедробилок, крестовины рельсов) |
| Х34*** | 1,5—2,2 | 0,3—0,6 | 1,30—1,70 | 30,0—32,0 | ≤ 0,2 | — | Детали, испытывающие абразивное трение без ударов, в присутствии воды, слабых кислот и щелочей (литые поршневые насосы в химической промышленности), по структуре — легированная чугуном |

* По ГОСТ 801-47. ** По ТУ. *** По ГОСТ 2176-43.

Таблица 31

Группа 11. Сталь для работы под нагрузкой при повышенных температурах

| Марка стали | Химический состав в % | | | | | | Примерное назначение |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----|----|----|----|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| | C | Mn | Si | Cr | Ni | Другие легирующие элементы | |
| <i>А. Сталь для сосудов, работающих при температуре не более 120° С и при давлении до 8 атм</i> | | | | | | | |
| Ст. 2* | — | — | — | — | — | — | Теплотехническое и другое оборудование, работающее при температуре до 120° С |
| Ст. 3* | 0,12—0,23 | — | — | — | — | — | |
| * Содержание S и P до 0,045% каждого элемента | | | | | | | |

Продолжение табл. 31

| Марка стали | Химический состав в % | | | | | | Примерное назначение |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------|----------------|-----------|-----------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | C | Mn | Si | Cr | Ni | Другие легирующие элементы | |
| Б. Котельная и топочная сталь для работы при температурах до 400°С (ГОСТ 399-41, 5520-50, 4543-48) | | | | | | | |
| Ст. 3Т* | 0,12—0,22 | — | Не нормируется | — | — | — | Листы для котельных топок |
| Ст. 3К* | 0,19—0,22 | — | То же | — | — | — | Котлы (паровые, судовые) |
| 15К** | 0,12—0,20 | ≤ 0,65 | 0,15—0,30 | — | — | — | Детали паровых котлов и других сосудов, работающих под давлением до 60 атм и при температуре не свыше 450°С |
| 20К** | 0,16—0,24 | ≤ 0,65 | 0,15—0,30 | — | — | — | Котлы повышенного давления |
| 25К** | 0,21—0,28 | ≤ 0,8 | 0,15—0,30 | — | — | — | То же |
| 15М*** | 0,10—0,18 | 0,40—0,70 | 0,17—0,37 | ≤ 0,3 | ≤ 0,3 | Mo 0,40—0,55 | |
| 20М*** | 0,15—0,25 | 0,40—0,70 | 0,17—0,37 | ≤ 0,3 | ≤ 0,3 | Mo 0,40—0,55 | |
| 15ХМА*** | 0,10—0,18 | 0,40—0,70 | 0,17—0,37 | 0,8—1,1 | ≤ 0,3 | Mo 0,40—0,55 | |
| В. Сталь для длительных нагрузок при температурах до 450—500°С (по ГОСТ 4543-48) | | | | | | | |
| 15М | 0,10—0,18 | 0,40—0,70 | 0,17—0,37 | ≤ 0,3 | ≤ 0,3 | Mo 0,40—0,55 | Котлы с температурой перегретого пара до 450°С и детали паропроводов |
| 12ХМ | ≤ 0,16 | 0,40—0,70 | 0,17—0,37 | 0,8—1,10 | ≤ 0,3 | Mo 0,40—0,55 | То же, для 450°С, трубы пароперегревателей |
| 30М | 0,25—0,35 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | ≤ 0,3 | ≤ 0,4 | Mo 0,40—0,55 | Детали турбин, работающие при температурах до 425—450°С |
| 30ХМ | 0,25—0,35 | 0,40—0,70 | 0,17—0,37 | 0,8—1,1 | ≤ 0,40 | Mo 0,15—0,25 | Детали турбин, работающие при температурах до 450—500°С |
| 35ХМ | 0,30—0,40 | 0,40—0,70 | 0,17—0,37 | 0,8—1,1 | ≤ 0,40 | Mo 0,15—0,25 | Детали турбин более крупного сечения (валы, штоки, роторы) |
| 40ХНМА | 0,35—0,44 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | 0,60—0,90 | 1,25—1,75 | Mo 0,15—0,25 | То же, но для деталей сечением более 100—150 мм |
| 33ХН3МА | 0,29—0,37 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | 0,8—1,1 | 2,50—3,00 | Mo 0,20—0,30 | Высоконапряженные валы турбин, диски, роторы, работающие при температурах до 425—450°С |
| Г. Жаропрочная сталь (с повышенным пределом ползучести) | | | | | | | |
| Ферритно-карбидная сталь (для длительных нагрузок при температурах до 600—650°С) (по ГОСТ 5632-51) | | | | | | | |
| Х5М | ≤ 0,15 | ≤ 0,6 | ≤ 0,5 | 4,0—6,0 | — | Mo 0,5—0,6 | Трубы, детали насосов, задвижки, подвески и опоры катков, работающих в нагруженном состоянии |
| Х6СМ | ≤ 0,15 | ≤ 0,7 | 1,5—2,0 | 5,0—6,5 | — | Mo 0,45—0,60 | Трубы, применяемые для крекин-процессов в условиях коррозии, части насосов, задвижки, штоки, детали гидрогенерационных установок, работающих при больших давлениях водорода |
| Х7СМ | ≤ 0,15 | ≤ 0,7 | 1,5—2,0 | 6,5—8,0 | — | Mo 0,45—0,60 | |
| Х10С2М | 0,35—0,45 | ≤ 0,7 | 1,9—2,6 | 9,0—10,5 | ≤ 0,5 | Mo 0,7—0,9 | Клапаны выпуска автомобильных моторов; жаростойкость до 950°С |
| 2Х13 | 0,16—0,24 | ≤ 0,6 | ≤ 0,6 | 12,0—14,0 | ≤ 0,60 | — | Лопатки турбин, работающие в атмосфере пара |

* Содержание S и P до 0,045% каждого элемента (ГОСТ 399-41).

** По ГОСТ 5520-50.

*** По ГОСТ 4543-48.

| Марка стали | Химический состав в % | | | | | | Примерное назначение |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------|-----------|-----------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | C | Mn | Si | Cr | Ni | Другие легирующие элементы | |
| | <i>Аустенитная сталь (для длительных нагрузок при температурах до 600—(0)°С) по ГОСТ 5632-51</i> | | | | | | |
| X13H7C2 | 0,25—0,37 | ≤ 0,7 | 2,0—3,0 | 11,5—14,0 | 6—7,5 | — | Клапаны двигателей внутреннего сгорания; жаростойкость до 950°С Выхлопные патрубки, коллекторы, глушители в мощных моторах. Жаростойкость до 1000°С Трубы химической и нефтяной промышленности, работающие при нагреве Детали установок для конверсии металла, пиролиза газов, гидрогенерации Печные конвейеры, крепежные детали, подвесные элементы и опоры в котлах. Различные детали печей и газовых турбин, работающие под нагрузкой Детали пароперегревателей, работающих в условиях высоких температур и давления Выпускные клапаны мощных моторов, лопатки газовых турбин и детали паровых и газовых трубопроводов Выпускные клапаны моторов |
| X18H9T | ≤ 0,12 | ≤ 2,0 | ≤ 0,8 | 17,0—20,0 | 8,0—11,0 | (до 0,8 Ti) % Ti = = [1/6 C—0,03]·5 | |
| X23H13 | ≤ 0,20 | ≤ 2,0 | ≤ 1,0 | 22,0—25,0 | 12,0—15,0 | — | |
| X23H15 | ≤ 0,20 | ≤ 2,0 | ≤ 1,0 | 22,0—25,0 | 17,0—20,0 | — | |
| X25H90C2 | ≤ 0,20 | ≤ 1,5 | 2,0—3,0 | 23,0—27,0 | 18,0—21,0 | — | |
| X18H25C2 | 0,30—0,40 | ≤ 1,5 | 2,0—3,0 | 17,0—20,0 | 23,0—26,0 | — | |
| X20H14C2 | ≤ 0,20 | ≤ 1,5 | 2,0—3,0 | 19,0—22,0 | 12,0—15,0 | — | |
| X14H14B2M | ≤ 0,15 | ≤ 0,7 | ≤ 0,8 | 13,0—15,0 | 13,0—15,0 | Mo 0,45—0,60 W 2,0—2,75 | |
| 4X14H14B2M | 0,40—0,50 | ≤ 0,7 | ≤ 0,8 | 13,0—15,0 | 13,0—15,0 | Mo 0,25—0,40 W 2,0—2,75 | |
| X18H12M3T | ≤ 0,12 | ≤ 2,0 | ≤ 0,8 | 16,0—19,0 | 11,0—14,0 | Mo 3,0—4,0 Ti 0,3—0,6 | |
| X14H14B2M | 0,40—0,50 | ≤ 0,70 | 2,75—3,25 | 13,0—15,0 | 13,0—15,0 | Mo 0,25—0,40 W 1,75—2,75 | |

Таблица 32

Группа 12. Стали и сплавы на железной основе, устойчивые против коррозии (по ГОСТ 5632-51)

| Марка стали | Химический состав в % | | | | | | Примерное назначение |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----|---------|----|----|----------------------------|----------------------------------------------------|
| | C | Mn | Si | Cr | Ni | Другие легирующие элементы | |
| | <i>А. Сталь повышенной устойчивости против воздушной коррозии</i> | | | | | | |
| Медистая сталь (нестандартная) | 0,10—0,20 | — | 0,5—0,8 | — | — | Cu 0,2—0,3 | Строительные конструкции ответственного назначения |

Продолжение табл. 32

| Марка стали | Химический состав в % | | | | | Примерное назначение |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------|---------|-----------|-----------|-------------------------------------------------|
| | C | Mn | Si | Cr | Ni | |
| <p>Б. Жаростойкая (окалиностойкая) сталь, устойчивая против газовой коррозии при повышенных температурах</p> | | | | | | |
| X6C | ≤0,15 | ≤0,7 | 1,5—2,0 | 5,0—6,5 | ≤0,6 | — |
| X9C2 | 0,35—0,50 | ≤0,7 | 2,0—3,0 | 8,0—10,0 | ≤0,6 | — |
| X12ЮС | 0,07—0,12 | ≤0,7 | 1,2—2,0 | 11,5—14,0 | ≤0,5 | 1,0—1,8 Al |
| X25 | ≤0,20 | ≤0,8 | ≤1,0 | 23,0—27,0 | ≤0,6 | — |
| X25T | ≤0,15 | ≤0,8 | ≤1,0 | 23,0—27,0 | 0,6 | %Ti = 4/100 C (до 0,8 Ti) |
| 1X18H9T | ≤0,12 | ≤2,0 | ≤0,8 | 17,0—20,0 | 8,0—11,0 | %Ti = (9/100) C — —0,039(0,5 (до 0,8% Ti) |
| X23H13 | ≤0,20 | ≤2,0 | ≤1,0 | 22,0—25,0 | 12,0—15,0 | — |
| X23H18 | ≤0,20 | ≤2,0 | ≤1,0 | 22,0—25,0 | 17,0—20,0 | — |
| X20H14C2 | ≤0,20 | ≤1,5 | 2,0—3,0 | 19,0—22,0 | 12,0—15,0 | — |
| X25H20C2 | ≤0,20 | ≤1,5 | 2,0—3,0 | 23,0—27,0 | 18,0—21,0 | — |
| X18H25C2 | 0,30—0,40 | ≤1,5 | 2,0—3,0 | 17,0—20,0 | 23,0—26,0 | — |
| <p>В. Сталь повышенной устойчивости против коррозии в химически активных средах (нержавеющая сталь)</p> | | | | | | |
| 1X13 | ≤0,15 | ≤0,6 | ≤0,6 | 12,0—14,0 | ≤0,6 | — |

Нержавеющая сталь

Детали котлов, работающие с повышенной нагрузкой при температуре до 750° С. Окалиностойка до 750° С

Клапаны моторов и детали, работающие с пониженной нагрузкой при температуре до 800° С. Окалиностойка до 800° С

Детали, работающие с пониженной нагрузкой при температуре до 900° С. Окалиностойка до 900° С

Детали, работающие с пониженной нагрузкой. Окалиностойка при температуре до 1100° С

Чехлы для теплопар. Окалиностойка при температуре до 1100° С

Выхлопные патрубки, глушители, трубы печей и крекинг-установок, нагревающиеся до 650—720° С. Окалиностойка до 1000° С

Трубы, сварочная проволока. Окалиностойка при температуре до 1000° С

Детали установок для гидрогенезации

Полвески и опоры в котлах. Окалиностойка до температуры 1000° С

Муфели, трубы, полвески и другие детали печей, работающие при температуре до 1100° С при длительной нагрузке. Окалиностойка до 1100° С

Детали, обладающие хорошей сопротивляемостью атмосферной коррозии и устойчивостью в атмосфере воды и пара. Детали с повышенной пластичностью и подвергающиеся ударным нагрузкам (турбинные лопатки), клапаны гидравлических прессов, арматуры крекинг-установок, болты, гайки, предметы домашнего обихода

| Марка стали | Химический состав в % | | | | | | Примерное назначение |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | C | Mn | Si | Cr | Ni | Другие легирующие элементы | |
| 2X18 3X13 4X13 | 0,16—0,24 0,25—0,34 0,35—0,45 | ≤ 0,6 ≤ 0,6 ≤ 0,6 | ≤ 0,6 ≤ 0,6 ≤ 0,6 | 12,0—14,0 12,0—14,0 12,0—14,0 | ≤ 0,6 ≤ 0,6 ≤ 0,6 | — — — | То же с повышенным содержанием углерода; возрастают прочность и твердость, снижается устойчивость против коррозии Режущий, мерительный и хирургический инструмент, пружины, карбораторные иглы, шарикоподшипники и другие детали, обладающие твердостью и прочностью, но работающие в коррозионно активной среде Обрабатываемые детали, которые наряду с коррозионной стойкостью должны обладать гладкой поверхностью после механической обработки и стойкостью против истирания (винты, гайки, шестерни и т. п.) Шарикоподшипники, втулки, вентили и другие детали, обладающие высокой износостойкостью при коррозионной стойкости |
| X14* | ≤ 0,15 | ≤ 0,7 | ≤ 0,7 | 13,0—15,0 | ≤ 0,6 | — | |
| X18 | 0,9—1,0 | ≤ 0,7 | ≤ 0,8 | 17,0—19,0 | ≤ 0,6 | — | |
| X17 X17H2 X25 X28 0X18H9 | ≤ 0,12 0,11—0,17 ≤ 0,20 ≤ 0,15 ≤ 0,07 | ≤ 0,7 ≤ 0,8 ≤ 0,8 ≤ 0,8 ≤ 2,0 | ≤ 0,8 ≤ 0,8 ≤ 1,0 ≤ 1,0 ≤ 0,8 | 16,0—18,0 16,0—18,0 23,0—27,0 27,0—30,0 17,0—20,0 | ≤ 0,6 1,5—2,5 ≤ 0,6 ≤ 0,6 8,0—11,0 | — — — — — | Оборудование азотнокислотных и консервных заводов, оборудование кухонь, столовых и т. п. Аппаратура для растворов гипохлората натрия, дымящейся азотной или фосфорной кислоты Присалочный материал для газовой и электродуговой сварки хромоникелевой стали. Устойчива против атмосферной коррозии, вода, пара и кислот Не подвержена интеркристаллитной коррозии Поллаки и обшивка гидросамолетов, баки, детали в производстве азотной кислоты, лаков, красок; устойчива в морской воде, окислительных средах, слабых щелочах. Немагнитные части аппаратуры управления судов. После сварки и других технологических процессов, связанных с нагревом, во избежание интеркристаллитной коррозии применяется термическая обработка (закалка) То же, но не подвержена интеркристаллитной коррозии после сварки и других технологических процессов, связанных с нагревом |
| 1X18H9 2X18H9 | ≤ 0,14 0,15—0,25 | ≤ 2,0 ≤ 2,0 | ≤ 0,8 ≤ 0,8 | 17,0—20,0 17,0—20,0 | % 0,0—11,0 8,0—11,0 | — — | |
| 1X18H9T | ≤ 0,12 | ≤ 2,0 | ≤ 0,8 | 17,0—20,0 | 8,0—11,0 | (до 0,8 Ti), % Ti = = % C - 0,03 - 5 | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Сталь высокой устойчивости в химически активных средах (кислотостойкая)

* Содержание серы 0,2—0,40%.

Продолжение табл. 32

| Марка стали | Химический состав в % | | | | | Примерное назначение |
|-------------------|-----------------------|----------|------------------|-----------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | C | Mn | Si | Cr | Ni | |
| X18H11B | ≤ 0,10 | ≤ 2,0 | ≤ 1,0 | 17,0—20,0 | 9,0—13,0 | Сварная аппаратура, которая после сварки не может быть термически обработана. Приспосабливаемый при сварке хромоникелевой стали. Сталь устойчива в атмосфере морской воды и многих кислот Заменители холоднокатанной стали марок X18H9 и 2X18H9 для прочных и легких конструкций, соединяемых точечной электросваркой и обладающих высокой устойчивостью к атмосферной коррозии. Сталь склонна к интеркристаллитной коррозии. Для аппаратуры, обладающей устойчивостью против сернистой кислоты, фосфорной, муравьиной и уксусной кислот, а также в горячих растворах белильной извести и сульфитного шелока. Сталь не подвержена интеркристаллитной коррозии |
| X13H4T9 | 0,15—0,30 | 8,0—10,0 | ≤ 0,8 | 12,0—14,0 | 3,7—5,0 | |
| X18H12M2T | ≤ 0,12 | ≤ 2,0 | ≤ 0,8 | 16,0—19,0 | 11,0—14,0 | |
| X18H12M3T | ≤ 0,12 | ≤ 2,0 | ≤ 0,8 | 18,0—19,0 | 11,0—14,0 | |
| Ферросилид | 0,50—0,70 | — | 12—18 | — | — | Литые детали насосов, кислородоводов и т. п., устойчив в кислотах серной, азотной, холодной соляной То же, в условиях кипящей соляной кислоты Литые гребки печей обжига медных концентратов |
| Антихлор* X34* | 0,50—0,70 1,5—2,2 | — | 13—16 1,3—1,7 | — | Мо 3—4 | |

Сплавы особо высокой устойчивости

* Слав нестандартного состава.

Таблица 33

Механические свойства сталей групп 9—12

Механические свойства легированной стали для работы при повышенных температурах *

| Марка стали | Механические свойства при 20°С | | | | | Предел текучести σ_T при °С | | | | | Ориентировочный предел ползучести при °С | | | | | | |
|-------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------|-----|------|------------------------------------|------|-----|-----|-----|------------------------------------------|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | σ_{TK} в кг/мм ² | δ в % | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 475 | 500 | 510 | 525 | 540 | 550 |
| 15M | 38—45 | > 26 | 20 (18) | 24 | 22,5 | 21 | 19 | 17 | 15 | 13 | 11 | 8,0 | 6,8 | 6,0 | 4,8 | — | — |
| 30M | 45—55 | > 29 | 18 | 26 | 24,5 | 23 | 21 | 19 | 17 | 15 | 13 | 8,3 | 6,8 | 6,0 | 4,8 | 3,7 | — |
| 15XМ | 45—55 | > 30 | 18 | 26 | 24,5 | 23 | 21,5 | 20 | 19 | 18 | 16 | 8,5 | 6,8 | 6,0 | 5,1 | 4,2 | 3,7 |
| 30XМ | > 90 | > 60 | 12 | — | — | — | — | — | — | — | — | 9 | 6,5 | 4,0 | — | — | — |
| 25XМФ | 100—115 | > 90 | 12 | — | — | — | — | — | — | — | — | 20 | 13,5 | 8,0 | 6,5 | 5,0 | — |

* Котельные установки. Госэнергоиздат, 1946.

Таблица 34

Механические свойства и режимы термической обработки сортовой конструктивной стали специализированного назначения (неражавеющей, кислотостойкой, жаростойкой и жаропрочной)

| Название стали | Термообработка (рекомендуемая) | | | | Механические свойства * | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|----------------|------------|--------------------------------------------|
| | Марка стали | Температура закалки в °С | Охлаждающая среда | Температура отпуска в °С | Охлаждающая среда | $\sigma_{\text{в}}$ в кг/мм ² | σ_{T} в кг/мм ² | δ_5 в % | ψ в % | α_{H} в кг/ж/см ² |
| Хромистая | 1X13 (ЭЖ1) | 1000—1050 | Масло, вода | 700—790 | Масло, вода, воздух | 60 | 42 | 20 | 60 | 9 |
| | 2X13 (ЭЖ2) | 1000—1050 | " | 660—770 | То же | 66 | 45 | 16 | 55 | 8 |
| | 3X13 (ЭЖ3) | 1000—1050 | Масло | 200—300 | " | — | — | — | — | — |
| | 4X13 (ЭЖ4) | 1050—1100 | " | 200—300 | " | — | — | — | — | — |
| | X17 (ЭЖ17) | Отжиг | " | 760—870 | Воздух | 40 | 25 | 20 | 50 | — |
| | X18 (ЭЖ229) | 1000—1050 | Масло | 200—300 | Масло, воздух | — | — | — | — | — |
| | X25 (ЭЖ181) | — | — | — | — | 45 | 30 | 20 | 45 | — |
| | X28 (ЭЖ27) | — | — | — | — | 45 | 30 | 20 | 45 | — |
| Хромоникелевая | X17H2 (ЭЖ268) | 950—575 | Масло | 275—300 | Масло | 110 | — | 10 | — | 5 |
| | 1X13H9 (ЭЖ1) | 1100—1150 | Вода | — | Вода | 55 | 20 | 45 | 60 | — |
| | 2X18H9 (ЭЖ2) | 1100—1150 | " | — | " | 58 | 22 | 40 | 55 | — |
| | X23H13 (ЭЖ319) | 1100—1150 | " | — | " | 55 | 30 | 35 | 50 | — |
| | X23H18 (ЭЖ417) | 1100—1150 | Масло, вода, воздух | — | То же | 55 | 30 | 35 | 50 | — |
| | X25T (ЭЖ439) | — | " | — | " | 45 | 30 | 20 | 45 | — |
| | X20H14C2 (X1211) | — | " | — | " | 60 | 30 | 35 | 50 | — |
| | X25H20C2 (ЭЖ283) | — | " | — | " | 60 | 30 | 35 | 50 | — |
| | 1X18H9T (ЭЖ11) | 1100—1150 | Вода | — | Вода | 55 | 20 | 40 | 55 | — |
| | X18H11B (ЭЖ398, ЭЖ402) | 1100—1150 | " | — | " | 55 | 20 | 40 | 55 | — |
| | X13H4T9 (ЭЖ100) | 1100—1150 | " | — | " | 65 | 25 | 35 | 55 | — |
| | X18H12M2T (ЭЖ171, ЭЖ448) | 1100—1150 | " | — | " | 55 | 22 | 40 | 55 | — |
| X18H12M3T (ЭЖ188, ЭЖ432 и ЭЖ397) | 1100—1150 | " | — | " | 55 | 22 | 40 | 55 | — | |

* После закалки и отпуска твердость стали 3X13 RC > 45, стали 4X13 RC > 50 и стали X18 RC > 55.

Таблица 35

Механические свойства и режимы термической обработки листовой конструкционной стали специализированного назначения (нержавеющей, кислотостойкой, жаростойкой и жаропрочной) (по ГОСТ 5582-50)

| Марка стали | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | | Режим термической обработки (рекомендуемый) |
|-------------|---------------------------------------|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | не менее | | |
| | δ_5 в % | | |
| 1X13 | 40 | 21 | Отжиг 740—780° С с охлаждением в печи То же |
| 2X13 | 50 | 20 | |
| 3X13 | 50 | 15 | " |
| 4X13 | 60 | 15 | " |
| X17H2 | 110 | 10 | Закалка 950—975°С с охлаждением в масле, отпуск 275—350°С Отжиг 760—780° С с охлаждением на воздухе или в печи |
| X17 | 50 | 18 | |
| X28 | 50 | 17 | Закалка 760—780° С с охлаждением в воде или на воздухе То же |
| X25 | 54 | 17 | |
| 0X18H9 | 54 | 45 | Закалка 1050—1100° С с охлаждением в воде или на воздухе Закалка 1080—1120° С с охлаждением в воде или на воздухе |
| 1X18H9 | 55 | 35 | |
| 2X18H9 | 60 | 38 | Закалка 1100—1150° С с охлаждением в воде Закалка 1050—1120° С с охлаждением в воде или на воздухе |
| 1X18H9T | 54 | 40 | |
| X18H11B | 54 | 40 | Закалка 1080—1130° С с охлаждением в воде или на воздухе То же |
| X18H12M2T | 54 | 35 | |
| X18H12M3T | 54 | 35 | " |
| X13H4Г9 | 65 | 40 | Закалка 1110—1150° С с охлаждением в воде То же |
| X23H13 | 55 | 35 | |
| X23H18 | 58 | 40 | " |
| X20H14C2 | 60 | 40 | " |
| X25H20C2 | 55 | 35 | " |

Примечания: 1. Листы из стали марки X17H2 поставляются в отожженном виде.
2. Режим термической обработки и показатели механических свойств указаны для контрольных образцов.
3. По требованию заказчика механические свойства отдельных марок стали могут быть повышены или установлены в более узких пределах.

Класс III. Сталь инструментальная

Инструментальные стали, различные по химическому составу, свойствам и обработке, можно классифицировать по следующим признакам.

1. По химическому составу различают две группы: а) легированную инструментальную сталь; б) углеродистую инструментальную сталь, в которой в свою очередь различают: 1) углеродистую качественную и 2) углеродистую высококачественную, отличающуюся более низким содержанием серы, фосфора и марганца и большей чистотой по неметаллическим включениям. Вследствие более низкого содержания марганца высококачественная сталь обладает меньшей прокаливаемостью, чем качественная углеродистая сталь, а вследствие более низкого содержания серы и фосфора инструмент из высококачественной стали меньше выкрашивается в тонкой режущей кромке при шлифовании и эксплуатации.

2. По применению различают пять групп:

а) сталь для режущего инструмента, работающего со снятием стружки;

- б) сталь быстрорежущая;
- в) штамповая сталь для холодного деформирования материала (без снятия стружки);
- г) штамповая сталь для горячего деформирования материала;
- д) сталь для измерительного инструмента.

Классификация по химическому составу не позволяет в достаточной степени характеризовать основные свойства инструментальной стали, так как она объединяет в одной группе легированной стали такие различные по структуре и свойствам стали, как, например, быстрорежущую ледебуритную, заэвтектоидную и доэвтектоидную штамповую стали.

Классификация по применению дает более четкую характеристику различных составов стали: так, к группе стали для режущего инструмента относится главным образом заэвтектоидная сталь, к группе штамповой для горячего деформирования — доэвтектоидная легированная сталь.

В табл. 35 принята классификация инструментальной стали по применению, предложенная Ю. А. Геллером.

Группа 13. Сталь углеродистая, легированная и быстрорежущая для режущих инструментов

| Марка стали | Химический состав в % | | | | |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|----------------------------|
| | C | Mn | Si | Cr | Другие легирующие элементы |
| Стали небольшой прокаливаемости | | | | | |
| <i>Углеродистая высококачественная сталь (ГОСТ 1435-54)</i> | | | | | |
| У7А | 0,65—0,74 | 0,15—0,30 | 0,15—0,30 | < 0,15 | — |
| У8А | 0,80—0,90 | 0,15—0,30 | 0,15—0,30 | < 0,15 | — |
| У8ГА | 0,75—0,84 | 0,35—0,60 | 0,15—0,30 | < 0,15 | — |
| У9А | 0,85—0,94 | 0,15—0,30 | 0,15—0,30 | < 0,15 | — |
| У10А | 0,95—1,04 | 0,15—0,30 | 0,15—0,30 | < 0,15 | — |
| У11А | 1,05—1,14 | 0,15—0,30 | 0,15—0,30 | < 0,15 | — |
| У12А | 1,15—1,24 | 0,15—0,30 | 0,15—0,30 | < 0,15 | — |
| У13А | 1,25—1,35 | 0,15—0,30 | 0,15—0,30 | < 0,15 | — |
| <i>Углеродистая качественная сталь (ГОСТ 1435-54)</i> | | | | | |
| У7 | 0,65—0,74 | 0,20—0,40 | 0,15—0,35 | < 0,20 | — |
| У8 | 0,75—0,84 | 0,20—0,40 | 0,15—0,35 | < 0,20 | — |
| У8Г | 0,80—0,90 | 0,35—0,60 | 0,15—0,35 | < 0,20 | — |
| У9 | 0,85—0,94 | 0,15—0,35 | 0,15—0,35 | < 0,20 | — |
| У10 | 0,95—1,04 | 0,15—0,35 | 0,15—0,35 | < 0,20 | — |
| У11 | 1,05—1,14 | 0,15—0,35 | 0,15—0,35 | < 0,20 | — |
| У12 | 1,15—1,24 | 0,15—0,35 | 0,15—0,35 | < 0,20 | — |
| У13 | 1,25—1,35 | 0,15—0,35 | 0,15—0,35 | < 0,20 | — |
| <i>Легированные стали (ГОСТ 5950-51)</i> | | | | | |
| Х05 | 1,25—1,40 | 0,20—0,40 | < 0,35 | 0,40—0,60 | — |
| ХВ5 ¹⁾ | 1,25—1,50 | < 0,30 | < 0,30 | 0,40—0,70 | W 4,5—5,5 |
| ШХ6 * | 0,95—1,10 | 0,20—0,40 | 0,15—0,35 | 0,45—0,75 | — |
| 65Х ** | 0,60—0,70 | < 0,40 | < 0,35 | 0,50—0,80 | — |
| Ф | 0,95—1,05 | 0,20—0,40 | < 0,35 | — | V 0,2—0,4 |
| В1 * ¹⁾ | 1,05—1,25 | 0,20—0,40 | < 0,35 | 0,10—0,30 | W 0,80—1,20 |
| 85ХФ | 0,80—0,90 | 0,30—0,60 | < 0,35 | 0,45—0,70 | V 0,15—0,30 |
| <i>Стали повышенной прокаливаемости (ГОСТ 5950-51)</i> | | | | | |
| Х | 0,95—1,10 | < 0,40 | < 0,35 | 1,30—1,60 | — |
| ШХ15 * | 0,95—1,10 | 0,20—0,40 | 0,15—0,35 | 1,30—1,65 | — |
| Х09 | 0,95—1,10 | < 0,40 | < 0,35 | 0,75—1,05 | — |
| ШХ9 * | 0,95—1,10 | 0,20—0,40 | 0,15—0,35 | 0,75—1,05 | — |
| 9ХС | 0,85—0,95 | 0,30—0,60 | 1,20—1,60 | 0,95—1,25 | — |
| ХГС | 0,95—1,10 | 0,80—1,20 | 0,50—1,0 | 1,40—1,80 | — |
| ХВГ | 0,90—1,05 | 0,80—1,10 | 0,15—0,35 | 0,90—1,20 | W 1,20—1,60 |
| 9ХВГ | 0,85—0,95 | 0,90—1,20 | 0,15—0,35 | 0,50—0,80 | W 0,50—0,80 |
| <i>Быстрорежущие стали (по ГОСТ 5952-51)</i> | | | | | |
| P18 | 0,70—0,80 | < 0,40 | < 0,40 | 3,8—4,4 | W 17,5—19,0 V 1,0—1,4 |
| P9 | 0,85—0,95 | < 0,40 | < 0,40 | 3,8—4,4 | W 8,5—10,0 V 2,0—2,6 |
| ЭИ347 | 0,70—0,80 | < 0,40 | < 0,40 | 4,0—4,6 | W 8,5—10,0 V 1,3—1,7 |

Примечания: 1. Стали ХВ5 и В1 могут содержать 0,15—0,30% V; обязательное содержание ванадия должно оговариваться в заказе.

2. Содержание никеля и меди для сталей марок У7А—У12А 0,20%, для сталей марок У7—У12 < 0,25% каждого элемента. Содержание никеля для легированной стали < 0,25%, а для стали 35ХФ по требованию потребителя < 0,20%. Содержание никеля в быстрорежущих сталях не должно быть выше 0,4%.

* По ГОСТ 801-47.

** По ТУ.

Таблица 37

Группа 14. Сталь углеродистая и легированная для инструментов, деформирующих металл в холодном состоянии

| Марка стали | Химический состав в % | | | | Примечание |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| | C | Mn | Si | Cr | |
| Стали небольшой прокаливаемости | | | | | |
| <i>Углеродистая качественная сталь (ГОСТ 1435-54)</i> | | | | | |
| У7 | 0,65—0,74 | 0,20—0,40 | 0,15—0,35 | ≤ 0,20 | — |
| У8 | 0,75—0,84 | 0,20—0,40 | 0,15—0,35 | ≤ 0,20 | — |
| У10 | 0,95—1,04 | 0,15—0,35 | 0,15—0,35 | ≤ 0,20 | — |
| У12 | 1,15—1,24 | 0,15—0,35 | 0,15—0,35 | ≤ 0,20 | — |
| <i>Углеродистая высококачественная сталь (ГОСТ 1435-54)</i> | | | | | |
| У7А | 0,65—0,74 | 0,15—0,30 | 0,15—0,30 | ≤ 0,15 | — |
| У8А | 0,75—0,84 | 0,15—0,30 | 0,15—0,30 | ≤ 0,15 | — |
| У10А | 0,95—1,04 | 0,15—0,30 | 0,15—0,30 | ≤ 0,15 | — |
| У12А | 1,15—1,24 | 0,15—0,30 | 0,15—0,30 | ≤ 0,15 | — |
| <i>Легированные стали (ГОСТ 5950-51)</i> | | | | | |
| Ф | 0,9—1,05 | 0,20—0,40 | ≤ 0,35 | — | V 0,2—0,4 |
| Стали повышенной прокаливаемости (ГОСТ 5950-51) | | | | | |
| Х (ШХ15) | 0,95—1,10 | ≤ 0,40 | ≤ 0,35 | 1,30—1,60 | — |
| 9ХС | 0,85—0,95 | 0,30—0,60 | 1,20—1,60 | 0,95—1,25 | — |
| Х09 | 0,95—1,10 | ≤ 0,40 | ≤ 0,35 | 0,75—1,05 | — |
| 9Х | 0,80—0,95 | 0,25—0,35 | 0,25—0,45 | 1,40—1,70 | — |
| 9ХВГ | 0,85—0,95 | 0,90—1,20 | 0,15—0,35 | 0,50—0,80 | W 0,50—0,80 |
| ХВГ | 0,90—1,05 | 0,80—1,10 | 0,15—0,35 | 0,90—1,20 | W 1,20—1,60 |
| Стали высокой прокаливаемости и износоустойчивости (ГОСТ 5950-51) | | | | | |
| Х12 | 2,0—2,3 | ≤ 0,35 | ≤ 0,40 | 11,5—13,0 | — |
| Х12Ф | 1,4—1,6 | ≤ 0,35 | ≤ 0,40 | 11,0—12,5 | V 0,20—0,40 |
| Х12М | 1,45—1,7 | ≤ 0,35 | ≤ 0,40 | 11,0—12,5 | V 0,15—0,30 |
| | | | | | Mo 0,40—0,60 |
| Х12Ф1 | 1,20—1,40 | ≤ 0,35 | ≤ 0,40 | 11,0—12,5 | V 0,70—0,90 |
| Х12Ф1Аз | 1,20—1,40 | ≤ 0,35 | ≤ 0,40 | 11,0—12,5 | V 0,70—0,90 |
| | | | | | N 0,50—0,20 |
| Сталь повышенной вязкости (ГОСТ 5950-51) | | | | | |
| У7* | 0,60—0,74 | ≤ 0,40 | ≤ 0,35 | ≤ 0,20 | — |
| 4ХС | 0,35—0,45 | ≤ 0,40 | 1,2—1,6 | 1,3—1,6 | — |
| 6ХС | 0,60—0,70 | ≤ 0,40 | 0,60—1,0 | 1,0—1,3 | — |
| 4ХВ2С | 0,35—0,44 | 0,20—0,40 | 0,60—0,90 | 1,0—1,3 | 2,0—2,5 |
| 5ХВ2С | 0,45—0,54 | 0,20—0,40 | 0,50—0,80 | 1,0—1,3 | 2,0—2,5 |
| 6ХВ2С | 0,55—0,65 | 0,20—0,40 | 0,50—0,80 | 1,0—1,3 | 2,2—2,7 |
| 5ХВГ | 0,55—0,70 | 0,90—1,20 | 0,15—0,35 | 0,50—0,80 | 0,50—0,80 |
| * По ГОСТ 1435-54. | | | | | |
| Цементуемые стали повышенной вязкости (ГОСТ 4543-48) | | | | | |
| 15Х | 0,12—0,20 | 0,30—0,60 | 0,17—0,37 | 0,70—1,00 | — |
| 20Х | 0,15—0,25 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | 0,70—1,00 | — |

Таблица 38

Группа 15. Сталь штамповая, деформирующая металл в горячем состоянии

| Марка стали | Химический состав в % | | | | | |
|-------------------------------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------------------------|
| | C | Mn | Si | Cr | Ni | Прочие |
| Стали для молотовых штампов (ГОСТ 5950-51) | | | | | | |
| 5ХНТ * | 0,50—0,60 | 0,5—0,8 | ≤ 0,35 | 0,9—1,25 | 1,4—1,8 | Ti 0,08—0,15 |
| 5ХНСВ * | 0,50—0,60 | 0,3—0,6 | 0,6—0,9 | 1,3—1,6 | 0,8—1,2 | W 0,40—0,60 |
| 5ХНС * | 0,50—0,60 | 0,3—0,6 | 0,6—0,9 | 1,3—1,3 | 0,8—1,2 | — |
| 5ХВГ | 0,55—0,70 | 0,9—1,2 | 0,15—0,35 | 0,5—0,8 | ≤ 0,30 | W 0,50—0,80 |
| 5ХНМ | 0,50—0,60 | 0,5—0,8 | ≤ 0,35 | 0,5—0,8 | 1,4—1,8 | Mo 0,15—0,30 |
| 5ХГМ | 0,50—0,60 | 1,2—1,6 | 0,25—0,65 | 0,6—0,9 | ≤ 0,30 | Mo 0,15—0,30 |
| Стали для протяжных и вытяжных штампов (ГОСТ 5950-51) | | | | | | |
| 3Х2В8 ** | 0,30—0,40 | 0,20—0,40 | ≤ 0,35 | 2,2—2,7 | ≤ 0,3 | W 7,50—9,50 V 0,20—0,50 |
| 4ХВ2С | 0,35—0,44 | 0,20—0,40 | 0,6—0,9 | 1,0—1,3 | ≤ 0,3 | W 2,0—3,0 |
| 4Х8В2 | 0,35—0,45 | 0,20—0,40 | ≤ 0,35 | 7,0—9,0 | ≤ 0,3 | W 2,0—3,0 |
| 30ХГС *** | 0,25—0,35 | 0,80—1,10 | 0,90—1,20 | 0,80—1,10 | ≤ 0,4 | — |
| 35ХГС *** | 0,30—0,40 | 0,80—1,10 | 1,10—1,40 | 1,10—1,40 | ≤ 0,4 | — |
| 4ХС | 0,35—0,45 | ≤ 0,40 | 1,2—1,6 | 1,3—1,6 | ≤ 0,3 | — |
| 7Х3 | 0,60—0,75 | 0,2—0,4 | ≤ 0,35 | 3,2—3,8 | ≤ 0,3 | — |
| 8Х3 | 0,76—0,85 | 0,2—0,4 | ≤ 0,35 | 3,2—3,8 | ≤ 0,3 | — |
| Стали для прессформ (ГОСТ 5950-51) | | | | | | |
| 3Х2В8 | 0,30—0,40 | 0,2—0,4 | ≤ 0,35 | 2,2—2,7 | ≤ 0,3 | V 0,2—0,5 W 7,5—9,0 W 2,0—3,0 |
| 4Х8В2 | 0,35—0,45 | 0,2—0,4 | ≤ 0,35 | 7,0—9,0 | ≤ 0,3 | — |
| 30ХГС *** | 0,25—0,35 | 0,80—1,10 | 0,90—1,20 | 0,80—1,10 | ≤ 0,4 | — |
| 4ХС | 0,35—0,45 | ≤ 0,40 | 1,2—1,6 | 1,3—1,6 | ≤ 0,8 | — |
| 3Х13 **** | 0,25—0,34 | ≤ 0,6 | ≤ 0,6 | 12,0—14,0 | ≤ 0,6 | — |
| X18 **** | 0,9—1,0 | ≤ 0,7 | ≤ 0,8 | 17,0—19,0 | ≤ 0,6 | — |
| 12ХН2 ** | ≤ 0,17 | 0,30—0,60 | 0,17—0,37 | 0,60—0,90 | 1,50—2,00 | — |
| 12Х2Н4 ** | 0,11—0,17 | 0,30—0,60 | 0,17—0,37 | 1,25—1,75 | 3,25—3,75 | — |
| 60 ***** | 0,55—0,65 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | ≤ 0,30 | ≤ 0,30 | — |
| 55 ***** | 0,50—0,60 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | ≤ 0,30 | ≤ 0,30 | — |

* См. [4].
** В стали 3Х2В8 содержание углерода по требованию потребителя может быть в пределах 0,40—0,50%.
*** ГОСТ 4543-43.
**** ГОСТ 5632-51.
***** ГОСТ 1050-52.

Таблица 39

Группа 16. Сталь для измерительных инструментов

| Марка стали | Химический состав в % | | | | |
|-------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| | C | Mn | Si | Cr | Ni не более |
| X * | 0,95—1,10 | ≤ 0,40 | ≤ 0,35 | 1,30—1,60 | 0,25 |
| ШХ15 ** | 0,95—1,10 | 0,20—0,40 | 0,15—0,35 | 1,30—1,65 | — |
| XГ * | 1,30—1,50 | 0,45—0,70 | ≤ 0,35 | 1,3—1,6 | 0,25 |
| 50 *** | 0,47—0,55 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | ≤ 0,30 | 0,30 |
| 55 *** | 0,50—0,60 | 0,50—0,80 | 0,17—0,37 | ≤ 0,30 | 0,30 |
| 15 *** | 0,12—0,20 | 0,35—0,65 | 0,17—0,37 | ≤ 0,30 | 0,30 |
| 20 *** | 0,17—0,25 | 0,35—0,65 | 0,17—0,37 | ≤ 0,30 | 0,30 |
| 4Х13 **** | 0,35—0,45 | ≤ 0,6 | ≤ 0,6 | 12,0—14,0 | 0,6 |
| X18 **** | 0,9—1,0 | ≤ 0,7 | ≤ 0,8 | 17,0—19,0 | 0,6 |

* ГОСТ 5950-51.
** ГОСТ 801-47.
*** ГОСТ 1050-52.
**** ГОСТ 5632-51.

Термообработка и назначение инструментальных сталей (группы 13—16)

Таблица 40

Температура нагрева и условия охлаждения при закалке углеродистых и легированных инструментальных сталей [4]

| Марка стали | Температура закалки в °С | Охлаждающая среда | Твердость после закалки R _C |
|-------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| У7 ¹⁰ | 780—800 | Вода | 62—64 |
| У8, У9 ¹⁰ | 760—770 | Водный раствор щелочи (соли) или вода, а затем масло | 62—65 |
| У8, У9 ¹⁰ | 780—790 | Масло ¹⁾ | 63—62 |
| У10 — У12 ¹⁰ | 770—790 | Водный раствор щелочи (соли) | 63—65 |
| У10—У12 ¹⁰ | 770—790 | Вода, а затем масло | 62—64 |
| У10—У12 ¹⁰ | 770—790 | Соль (150—160° С), затем на воздухе ²⁾ | 61—63 |
| У10—У12 ¹⁰ | 800—820 | Водный раствор щелочи ³⁾ | 62—64 |
| У10—У12 ¹⁰ | 790—810 | Масло ¹⁾ | 61—62 |
| Х (ШХ15) | 835—850 | Масло | 62—65 |
| 9ХС | 840—850 | Соль (150—160° С), затем на воздухе ⁴⁾ | 61—64 |
| 9ХС | 850—870 | Масло | 62—64 |
| 9ХС | 860—875 | Соль (150—200° С), затем на воздухе ⁵⁾ | 61—63 |
| 9ХС | 860—880 | Соль (150—190° С), затем на воздухе ⁶⁾ | 59—62 |
| ШХ6 | 800—820 | Соль (150—160° С), затем на воздухе ⁷⁾ | 62—64 |
| ШХ6 | 790—800 | Вода, затем масло или водный раствор щелочи ⁸⁾ | 63—65 |
| Х09 | 825—840 | Масло | 62—64 |
| Х05 | 800—820 | Вода ⁹⁾ | 64—66 |
| ХВ5 | 820—840 | Вода | 65—67 |
| ХВ5 | 830—850 | Масло ⁹⁾ | 63—65 |
| ХВГ | 830—850 | Соль (150—160° С), затем на воздухе ⁵⁾ | 62—64 |
| ХВГ | 820—840 | Масло ⁹⁾ | 63—65 |
| 9ХВГ | 810—830 | Масло | 62—64 |
| 9ХВГ | 820—830 | Соль (150—160° С), затем на воздухе | 61—63 |
| В1 | 780—790 | Вода | 62—64 |
| 65Х | 820—840 | Масло | 61—63 |
| 85ХФ | 850—860 | " | 62—63 |
| 85ХФ | 850—860 | Соль (150—160° С), затем на воздухе ⁵⁾ | 60—62 |

¹⁾ Для инструментов диаметром (толщиной) до 5 мм.

²⁾ Для инструментов диаметром (толщиной) до 5—12 мм с выдержкой 1—2 мм при 150—160° С.

³⁾ Для инструментов диаметром (толщиной) более 25 мм.

⁴⁾ Для инструментов диаметром (толщиной) более 15—20 мм.

⁵⁾ При ступенчатой закалке с выдержкой в соли до 3—5 мин.

⁶⁾ При изотермической закалке с выдержкой в соли до 30—60 мин.

⁷⁾ Для инструментов диаметром до 15—18 мм.

⁸⁾ Для инструментов диаметром более 18 мм.

⁹⁾ Для дополнительного повышения твердости необходима обработка холодом.

¹⁰⁾ Для высококачественной стали У7А—У12А применяются те же режимы термической обработки.

Таблица 41

Температура закалки высокохромистых сталей (нагрев в жидкой соли) [4]

| Марка стали | Обработка на первичную твердость | | Обработка на вторичную твердость | |
|----------------|----------------------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| | Температура нагрева в °С | Твердость R _C | Температура нагрева в °С | Твердость R _C |
| Х12Ф1 и Х12ФАз | 1070—1090 | 61—63 | 1140—1160 | 42—48 |
| Х12Ф | 1030—1050 | 61—63 | 1130—1150 | 42—50 |
| Х12М | 1020—1040 | 62—63 | 1115—1130 | 42—50 |
| Х12 | 1000—1040 | 61—64 | — | — |

Таблица 42

Температура закалки быстрорежущей стали [4]

| Тип инструментов | Температура нагрева в °С для сталей | | |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------|-----------|
| | P18 | P9 | ЭИ347 |
| Сверла диаметром более 15—20 мм и резцы | 1280—1300 | 1240—1250 | 1230—1240 |
| Фасонные инструменты диаметром 10—70 мм (фрезы и др.) | 1270—1290 | 1220—1240 | 1220—1240 |
| Сверла диаметром 5—15 мм | 1260—1280 | 1210—1230 | 1210—1225 |
| Фасонные инструменты диаметром 5—10 мм | | | |
| То же, диаметром более 70 мм | 1250—1270 | 1200—1220 | 1200—1215 |
| Инструменты диаметром менее 3—5 мм | | | |

Таблица 43

Температура закалки и отпуска штамповых сталей для горячего деформирования [4]: [27]

| Марка стали | Закалка | | Отпуск | |
|-------------------------|--------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| | Температура нагрева в °С | Твердость R_C | Температура нагрева в °С | Твердость H_B |
| 5XHM, 5XHB ^б | 820—860 | 54—58 | 520—540 ¹⁾ 530—550 ²⁾ 560—580 ³⁾ | 387—430 364—402 321—364 |
| 5XHCВ | 850—870 | 55—59 | 520—540 ¹⁾ 530—550 ²⁾ 550—570 ³⁾ | 387—430 364—402 321—364 |
| 5XHT | 830—850 | 53—58 | 475—485 ¹⁾ 485—510 ²⁾ | 387—430 364—402 |
| 5XHC | 850—870 | 55—59 | 500—520 ¹⁾ 510—530 ²⁾ | 387—430 364—402 |
| 30XГC | 890—920 | 46—52 | 520—560 | 277—310 |
| 35XГC | 870—900 | 48—56 | 600—660 | 277—310 |
| 4XC | 870—890 | 52—54 | 600—660 | 277—310 |
| 6XC | 850—870 | 58—60 | 400—420 | 402—430 |
| 4XB2C | 950—1000 | 56—58 | 550—600 | 302—361 |
| 3X2B8 | 1050—1100 | 49—52 | 600—620 ¹⁾ | 408—474 |
| 4X8B2 | 1050—1100 | 52—55 | 575—600 ¹⁾ | 364—444 |
| 7X3 | 830—860 | 59—61 | 360—420 | 364—430 |
| 8X3 | 820—850 | 60—62 | 390—430 | 387—430 |
| У7 | 800—830 | 62—64 | 370—400 | 340—375 |

¹⁾ Для мелких штампов.

²⁾ Для средних штампов.

³⁾ Для крупных штампов.

⁴⁾ Для деталей прессформ температуры отпуска и твердость устанавливают в зависимости от назначения и условий работы детали.

^{б)} Для крупных штампов сталь 5XHB не применяется.

Таблица 44

Примерное назначение марок стали для инструментов основных типов (в графе "Рекомендуемая марка стали" первой указывается основная, наиболее пригодная для данного инструмента марка стали, а затем — заменяющая марка стали) [4]

| Тип инструмента | Рекомендуемая марка стали |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Режущие инструменты | |
| <i>Резцы (стали группы 1 и 2)</i> | |
| Резцы обдирочные и фасонные для обработки стали твердостью выше $H_B = 200 \div 220$ и для обработки заэвтектоидной и ледобуритной стали | P18; P9 |
| То же для обработки стали твердостью не менее $H_B = 220$, серого и ковкого чугуна, цветных металлов | P9 |
| То же для обработки твердых материалов и чистовых работ с небольшой скоростью резания | XB5; XГ *; XBГ * |
| <i>Сверла</i> | |
| Сверла, обрабатывающие с большой скоростью материалы твердостью до $H_B = 220 \div 280$ | P9; P18 |
| То же для сквозного сверления вязкой стали твердостью $H_B = 280 \div 320$ | PK10; PK5 |
| Сверла, обрабатывающие мягкие материалы с небольшой скоростью, диаметром до 5—8 мм | У12А, У11А 9XC, X |
| То же, диаметром более 5—8 мм | |
| Длинные и тонкие сверла, обрабатывающие мягкие материалы, деформация которых при закалке должна быть наименьшей | 9XC; XBГ |
| <i>Фрезы</i> | |
| Шлифуемые фрезы высокой производительности для обработки стали твердостью выше $H_B = 220 \div 280$ и для обработки заэвтектоидной и ледобуритной стали | P18; ЭИ347; P9 |
| Шлифуемые фрезы высокой производительности для обработки стали твердостью до $H_B = 200$, серого и ковкого чугуна | ЭИ347; P18 |
| То же, но не шлифуемые фрезы | P9; ЭИ347 |
| Фрезы для обработки твердых материалов с небольшой скоростью резания | XB5; XBГ * 9XC |
| Фрезы для обработки мягких цветных металлов | P9; P18 |
| <i>Долбяки</i> | |
| <i>Развертки</i> | |
| Развертки высокой производительности, работающие по твердой стали | P18; ЭИ347 |
| Развертки, работающие с небольшой скоростью резания | 9XC; X |
| То же, но длинные и тонкие (деформация которых при закалке должна быть наименьшей) | 9XC; XBГ |
| <i>Зенкеры</i> | |
| Зенкеры высокой производительности, работающие по твердой стали | P9; P18 |
| Зенкеры, работающие с небольшой скоростью резания | 9XC; X |
| То же, но длинные и тонкие (деформация которых при закалке должна быть наименьшей) | 9XC; 9XBГ |
| <i>Метчики</i> | |
| Метчики машинные шлифуемые высокой производительности для обработки стали твердостью выше $H_B = 220$ и для обработки заэвтектоидной и ледобуритной стали | P18; ЭИ347 |
| То же, не шлифуемые метчики | P9 |
| Метчики для обработки мягких материалов (диаметром до 25—30 мм) | У11А; У12А |
| То же, но диаметром более 25—30 мм | ШХ6; 9XBГ; 9XC |
| То же, но длинные и тонкие, деформация которых при закалке должна быть наименьшей | ШХ6; XBГ; 9XC |
| <i>Протяжки</i> | |
| Протяжки высокой производительности | P9; P18 |
| Протяжки длинные, деформация которых при закалке должна быть наименьшей | X12Ф1 |
| Протяжки, работающие с умеренной скоростью | XBГ; 9XBГ; 9XC |

* Необходима обработка холодом для повышения твердости.

Продолжение табл. 44

| Тип инструмента | Рекомендуемая марка стали |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Прессформы для литья (и прессования) под давлением | |
| Детали прессформ для литья медных сплавов То же для алюминиевых сплавов " " магниевых сплавов " " цинковых Формы для прессования пластмасс: простой формы сложной | 3X2B3; 4X8B2 или 2X14, или X19 4XB2C; 4X8B2 или 2X14 4XB2C; 30XГC 30XГC; 40 50; 55; 60 12XН2А; 12X2Н4А |
| Измерительные инструменты | |
| Калибры высоких классов точности То же, но длинные и сложной формы (которые должны получить возможно меньшую деформацию при закалке) То же, но простой формы и пониженных классов точности Измерительные плитки Лекала сложной формы Плоские шаблоны и скобы Инструменты, устойчивые против коррозии То же, но повышенной износоустойчивости | X; XГ 9XВГ; XВГ У11; У12 X X; 9XВГ 15; 20* или 50, 55** 3X14; 4X14 X18 |
| * При условии цементации. ** При условии закалки с нагревом токами высокой частоты. | |

Класс IV. Сталь с особыми физическими свойствами.

Стали с особыми физическими свойствами применяются главным образом в электротехнической промышленности и точном приборостроении.

1. Сталь с определенным коэффициентом расширения; сюда относятся железоникелевые сплавы, коэффициент теплового расширения которых значительно изменяется в зависимости от содержания никеля.

2. Сталь с модулем упругости, независимым от температуры; типичной сталью этой группы является сплав элинвар, применяемый в очень точных приборах, в которых регулировка механизма не должна изменяться при колебаниях температуры.

3. Магнитная сталь, в которой различаются две подгруппы:

а) электротехническая сталь, обладающая высокой магнитной проницаемостью и малой коэрцитивной силой и применяемая для магнитопроводов электромашин, приборов и аппаратов;

б) сталь для постоянных магнитов, обладающая высокими коэрцитивными силами и остаточной индукцией и применяемая для создания магнитного потока в машинах, приборах и аппаратах.

В свою очередь в этой последней подгруппе следует различать:

а) высокоуглеродистую легированную сталь, закаливаемую на мертенсит;

б) сплавы на основе железа, никеля, алюминия, испытывающие сложные превращения распада твердого раствора в процессе литья или термической обработки; сплавы этого типа обладают наибольшей магнитной мощностью и имеют в настоящее время почти преимущественное применение; изделия из них изготовляют литьем и последующим шлифованием, так как они почти не поддаются обработке резцами.

4. Немagnetная (парамагнитная) сталь, применяемая, когда ферромагнитный материал непригоден из-за возможных погрешностей в показаниях приборов или вследствие других специальных условий.

5. Сплавы с высоким электросопротивлением, применяемые для реостатов и нагревательных приборов; в связи с эксплуатацией этих приборов при высоких температурах сплавы должны также обладать высокой жаростойкостью и, кроме того, для возможности точного регулирования — малой величиной температурного коэффициента электрического сопротивления.

Класс IV. Стали с особыми физическими свойствами

Химический состав и назначение

Таблица 45

| Марка стали | Химический состав в % | | | | | | Примерное назначение |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|----------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | C | Si | Mn | Cr | Ni | Другие легирующие элементы | |
| Группа 17. Сталь с определенным коэффициентом расширения [8], [11], [19], [28] | | | | | | | |
| ЭН36 (инвар) | < 0,25 | < 0,60 | < 0,70 | — | 35—37 | — | Детали приборов и аппаратов с минимальным коэффициентом расширения; термометаллы. Электроламп с коэффициентом расширения стекла (мягкому), эталоны мер |
| ЭН42 (платинит) | < 0,30 | < 0,60 | < 0,70 | — | 41—44 | — | |
| ЭИ349 | < 0,15 | < 0,40 | 0,40—0,80 | 25,0—30,0 | 0,6 | — | |
| Группа 18. Сталь с модулем упругости, не зависящим от температуры [8], [11], [19], [28] | | | | | | | |
| ЭИ25 (элинвар) | < 0,40 | < 0,50 | 0,30—0,60 | 7,3—8,3 | 36,5—38,5 | — | Пружины часов, хронометров и других измерительных приборов |
| ЭИ278 (элинвар) | 0,70—0,80 | < 0,60 | 2,0—3,0 | 7,0—9,0 | 33,0—35,0 | W 3,0—4,0 | |
| Группа 19. Сталь магнитная | | | | | | | |
| А. Сталь электротехническая (по ГОСТ 802-54) | | | | | | | |
| Э, ЭА, ЭАА *** | < 0,04 | < 0,20 | < 0,20 | — | — | — | Магнитроводы, экраны, для аппаратуры постоянного тока |
| Э11, Э12 | < 0,10* | 0,8—1,8 | — | — | — | — | |
| Э21 | < 0,10* | 1,8—2,8 | — | — | — | — | Статоры и роторы электромашин, аппаратура переменного тока |
| Э31, Э34, Э310, Э320, Э340, Э370 | < 0,10* | 2,8—4,0** | — | — | — | — | |
| Э41, Э42, Э43, Э44, Э45, Э46, Э47, Э48 | < 0,10* | 4,0—4,8 | — | — | — | — | Магнитроводы трансформаторов и других аппаратов переменного тока |
| Пермаллой *** | — | — | — | — | 78,5% Mo 4—5, остальное Fe | — | |

* Содержание углерода ориентировочно.

** Для холоднокатанной стали содержание Si 2,5 — 3,5%.

*** См. [4].

| Марка стали | Химический состав в % | | | | | | Примерное назначение | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| | C | Si | Mn | Cr | Ni | Другие легирующие элементы | | |
| Б. Сталь для постоянных магнитов | | | | | | | | |
| Закаливаемая на мартенсит (составы стали приведены в порядке возрастания магнитной мощности) (по ГОСТ 6862-54) | | | | | | | | |
| EX | 0,95—1,10 | 0,17—0,40 | 0,20—0,40 | 1,30—1,60 | ≤ 0,30 | — | Постоянные магниты для приборов и электромашин | |
| EX3 | 0,90—1,10 | 0,17—0,40 | 0,20—0,40 | 2,80—3,60 | ≤ 0,30 | — | | |
| E7B6 | 0,68—0,78 | 0,17—0,40 | 0,20—0,40 | 0,30—0,50 | ≤ 0,30 | W 5,2—6,2 | | |
| EX5K5 | 0,90—1,05 | 0,17—0,40 | 0,20—0,40 | 5,50—6,50 | ≤ 0,60 | Co 5,50—6,50 | | |
| EX9K15M | 0,90—1,05 | 0,17—0,40 | 0,20—0,40 | 8,0—10,0 | ≤ 0,60 | Mo 1,20—1,70 | | |
| Литые сплавы на основе железа, никеля, кобальта и алюминия | | | | | | | | |
| (составы приведены в порядке возрастания магнитной мощности) | | | | | | | | |
| АН1 (ални 1) | 22 | 11,0 | — | — | — | Остальное Fe | Постоянные магниты для приборов и электромашин | |
| АН2 (ални 2) | 24,5 | 13,0 | — | 3,5 | — | — | | |
| АН3 (ални 3) | 23,5 | 15,5 | — | 4,0 | — | — | | |
| АНК (алнис) | 33 | 13,5 | — | — | 1 Si | — | | |
| АНКО1 (алнико) | 18 | 10,0 | 12,0 | 6,0 | — | — | | |
| АНКО2 (алнико 15) | 20 | 9,0 | 15,0 | 4,0 | — | — | | |
| АНКО3 (алнико 18) | 19 | 10,0 | 18,0 | 3,0 | — | — | | |
| АНКО 4 (алнико 24, магнико) | 13,5 | 9,0 | 24,0 | 3,0 | — | — | | |
| Группа 20. Сталь немагнитная [8], [11], [19], [28] | | | | | | | | |
| ЭН25 | 0,25—0,30 | ≤ 0,70 | ≤ 0,25 | 2,0—3,0 | 22,0—25,0 | — | | Детали приборов, электрических аппаратов и электромашин |
| ЭН12Х | 0,50—0,60 | 4,0—5,5 | ≤ 0,6 | 3,0—4,5 | 11,5—13,5 | — | | |
| Э5Т9Н9 (ЭИ503) | 0,45—0,55 | 8,0—9,0 | 0,17—0,37 | ≤ 0,2 | 8,0—9,0 | — | | |
| ЭИ256 | 1,0—1,4 | 11,0—14,0 | ≤ 0,70 | — | — | — | | |
| ЭИ269 | 0,60—0,60 | 4,0—5,5 | ≤ 0,6 | ≤ 0,25 | 18,5—21,5 | — | | |
| ЭИ423 | 0,60—0,70 | 8,0—9,0 | 0,20—0,40 | 2,0—3,2 | 8,0—9,0 | — | | |
| ЭИ429 | 0,15—0,25 | 6,0—7,0 | ≤ 0,5 | 11,0—15,0 | 10,0—13,0 | — | | |

| Марка стали | Химический состав в % | | | | | | Примерное назначение |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------|--------|-----------|-----------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | C | Si | Mn | Cr | Ni | Другие легирующие элементы | |
| Группа 21. Сплавы с высоким электрическим сопротивлением (по ГОСТ 5632-51) | | | | | | | |
| X13Ю4 | ≤ 0,15 | ≤ 1,0 | ≤ 0,7 | 12,0—15,0 | ≤ 0,6 | As 3,5—5,5 | Проволока и лента для нагревательных элементов бытовых приборов и реостатов. Окислительность до 850°С; $\rho = 1,26 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ |
| 1X17Ю5 | ≤ 0,12 | ≤ 1,2 | ≤ 0,7 | 16,0—19,0 | ≤ 0,6 | 4,0—6,0 | Проволока и лента для нагревательных элементов электрических печей. Окислительность до 1000°С; $\rho = 1,30 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ |
| 0X17Ю5 | ≤ 0,06 | ≤ 0,6 | ≤ 0,7 | 16,0—19,0 | ≤ 0,6 | 4,0—6,0 | То же, но пролонгированность службы выше |
| 1X25Ю5 | ≤ 0,12 | ≤ 1,2 | ≤ 0,7 | 23,0—27,0 | ≤ 0,6 | 4,5—6,5 | Проволока и лента для нагревательных элементов крупных электропечей. Окислительность до 1150°С; $\rho = 1,40 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ |
| 0X25Ю5 | ≤ 0,06 | ≤ 0,6 | ≤ 0,7 | 23,0—27,0 | ≤ 0,6 | 1,5—6,5 | То же, но пролонгированность службы больше. Окислительность до 1200°С; $\rho = 1,40 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ |
| X15Н60 | ≤ 0,15 | ≤ 1,0 | ≤ 1,5 | 15,0—18,0 | 55,0—61,0 | — | Проволока и лента для нагревательных элементов электропечей. Жаропрочен, окислительность до 1000°С; $\rho = 1,1 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ |
| X30Н80 | ≤ 0,15 | ≤ 0,5 | ≤ 1,5 | 30,0—23,0 | 75,0—78,0 | — | То же, но окислительность до 1100°С; $\rho = 1,11 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ |
| X20Н80Т | ≤ 0,12 | ≤ 0,80 | ≤ 0,70 | 19—23 | Остальное | Ti ≤ 0,40 Al ≤ 0,20 | Проволока и лента для нагревательных элементов электропечей. Окислительность и жаропрочен при 1100°С; $\rho = 1,11 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ |
| X20Н80ТЗ | ≤ 0,08 | ≤ 1,0 | ≤ 0,50 | 19—23 | — | Ti 2,2—2,9 Al 0,4—1,1 | Проволока и лента для нагревательных элементов электропечей. Окислительность и жаропрочен при 1150°С; $\rho = 1,27 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ |

Характеристики сплавов с особыми физическими свойствами (группы 17—21)

Таблица 46

Коэффициенты линейного расширения α железоникелевых сплавов [28]

| Название сплава | Химический состав в % (средний) | | | | $\alpha =$ $= 20+300^\circ$ | Точка Кюри в $^\circ\text{C}$ | Примерное назначение |
|-----------------|------------------------------------|----|----|-----------|--------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| | Ni | Co | Cr | Fe | | | |
| Платинит 1 | 42 | — | — | Остальное | $6 \cdot 10^{-6}$ | 380 | Впаи в обычные мягкие стекла |
| Платинит 2 | 49 | — | — | То же | $9 \cdot 10^{-6}$ | 450 | |
| Ковар | 28 | 18 | — | „ | $5,5 \cdot 10^{-6}$ | 450 | Впаи в тугоплавкие стекла |
| Феррнико | 24 | 29 | — | „ | $8 \cdot 10^{-6}$ | 560 | |
| Ферронихром 25 | 24 | 29 | 26 | „ | $10 \cdot 10^{-6}$ | 670 | Впаи в свинцовые и другие стекла |
| Феррохром 30 | — | — | 30 | „ | $11 \cdot 10^{-6}$ | 630 | |

Таблица 47

Зависимость величины индукции от напряженности намагничивающего поля для низкоуглеродистых электротехнических сталей Э, ЭА, ЭАА (по ГОСТ 3836-47)

| Напряженность намагничивающего поля в ампер-витках на 1 см длины | Величина индукции в гс не менее | Напряженность намагничивающего поля в ампер-витках на 1 см длины | Величина индукции в гс не менее |
|------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| 5 | 13 800 | 100 | 18 100 |
| 10 | 15 000 | 300 | 20 500 |
| 25 | 16 200 | 500 | 21 800 |
| 50 | 17 100 | | |

Таблица 48

Магнитные свойства низкоуглеродистых электротехнических сталей (по ГОСТ 3836-47)

| Марка стали | Проницаемость в гс/э не менее | Коэрцитивная сила в э не более |
|-------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Э | 3500 | 1,2 |
| ЭА | 4000 | 0,1 |
| ЭАА | 4500 | 0,8 |

Характеристика марок электротехнической тонколистовой стали (по ГОСТ 802-54*)

| Марка | Характеристика |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Э11 | Слабелегированная сталь с нормальными удельными потерями при перемагничивании с частотой 50 гц |
| Э12 | Слабелегированная сталь с пониженными удельными потерями при перемагничивании с частотой 50 гц |
| Э21 | Среднелегированная сталь с нормальными удельными потерями при перемагничивании с частотой 50 гц |
| Э31 | Повышенно легированная сталь с нормальными потерями при перемагничивании с частотой 50 гц |
| Э34 | Повышенно легированная сталь с нормальными удельными потерями при перемагничивании с частотой 400 гц |
| Э310 | Повышенно легированная холоднокатанная текстурованная сталь с нормальными удельными потерями при перемагничивании с частотой 50 гц и нормальной проницаемостью в сильных полях |
| Э320 | Повышенно легированная холоднокатанная текстурованная сталь с пониженными удельными потерями при перемагничивании с частотой 50 гц и повышенной проницаемостью в сильных полях |
| Э340 | Повышенно легированная холоднокатанная текстурованная сталь с нормальными удельными потерями при перемагничивании с частотой 400 гц |
| Э370 | Повышенно легированная холоднокатанная текстурованная сталь с нормальной магнитной проницаемостью в средних полях (от 0,1 до 10 ампер-витков/см). |
| Э41 | Высоколегированная сталь с нормальными удельными потерями при перемагничивании с частотой 50 гц |
| Э42 | То же, что и Э41, но с пониженными удельными потерями |
| Э43 | То же, что и Э41, но с низкими удельными потерями |
| Э44 | Высоколегированная сталь с нормальными удельными потерями при перемагничивании с частотой 400 гц |
| Э45 | Высоколегированная сталь с нормальной магнитной проницаемостью в слабых полях (менее 0,01 ампер-витков/см) |
| Э46 | Высоколегированная сталь с повышенной магнитной проницаемостью в слабых полях |
| Э47 | Высоколегированная сталь с нормальной магнитной проницаемостью в средних полях от 0,1 до 10 ампер-витков/см |
| Э48 | Высоколегированная сталь с повышенной магнитной проницаемостью в средних полях |

* См. также т. 2, стр. 334 и 335.

Таблица 50

Химический состав и свойства некоторых сплавов типа пермаллой [8]*

| Название сплава | Химический состав в % | | | | ρ_0 в г/см ³ | ρ_{max} в г/см ³ | $4\pi J_H$ в гс | B_T в гс | H_c в эр/см ³ | W в эр/см ³ | $\rho_{В.М.К.С.М}$ | Точка Кюри в °С | Уд. вес в г/см ³ |
|----------------------------------------------------|-----------------------|------|----|-----|------------------------------|----------------------------------|-----------------|------------|----------------------------|--------------------------|--------------------|-----------------|-----------------------------|
| | Ni | Fe | Mo | Mn | | | | | | | | | |
| Высоконикелевый пермаллой (классический) | 78,5 | 21,5 | — | — | 10 000 | 100 000 | 10 000 | 6000 | 0,05 | 200 | 16 | 580 | 8,65 |
| 50%-ный пермаллой (Гиперник) | 50 | 50 | — | — | 2200—3000 | 20 000—70 000 | 15 800—16 000 | 7300 | 0,25 | 220 | 35 | 500 | 8,25 |
| 45%-ный пермаллой | 45 | 54,6 | — | 0,6 | 27 000 | 23 000—32 000 | 16 500 | 8000 | — | 1000 | 45 | 500 | 8,17 |
| Молибденовый пермаллой | 79 | — | 4 | 1 | 20 000 | 60 000 | 8 000 | 5000 | 0,05 | 200 | 55 | 460 | 8,27 |

Таблица 51а

Рекомендуемые режимы термической обработки постоянных магнитов и обязательные нормы по магнитным свойствам

| Марка стали | Режим термической обработки (рекомендуемый) | Магнитные свойства (по ГОСТ 6862-54) | |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| | | Остаточная индукция B_r в гс | Коэрцитивная сила H_c в э |
| | | не менее | |
| ЕХ, ЕХЗ | 1. Нормализация при 1000° С (ЕХ) или при 1050° С (ЕХЗ). 2. Закалка — подогрев при 500—600° С и окончательный нагрев при 850° С (выдержка после прогрева 10—15 мин.). Охлаждение в масле | { 9 000 * 9 500 * | 58 ** |
| Е7В6 | 3. Старение при 100° С | | 60 ** |
| | 1. Нормализация при 1200—1250° С 2. Закалка — подогрев при 500—600° С и окончательный нагрев при 820—860° С с охлаждением в воде или масле 3. Старение при 100° С | 10 000 | 62 |
| ЕХ5К5 | 1. Нормализация при 1150—1200° С 2. Закалка — подогрев при 500—650° С и окончательный нагрев при 950° С (выдержка после прогрева 10 мин.), охлаждение в масле | 8 500 | 100 |
| | 3. Старение при 100° С | | |
| ЕХ9К15М | 1. Нормализация при 1200—1230° С (выдержка после подогрева 5 мин.) 2. Отпуск при 700° С 30 мин. 3. Закалка при температуре 1030—1050° С (выдержка после прогрева 10 мин.). Охлаждение на воздухе до появления ферромагнетизма, а далее в масле 4. Старение при 100° С | 8 000 | 170 |

* Для стали ЕХ.
** Для стали ЕХЗ.

Таблица 51б

Режим термообработки и магнитные свойства сплавов для постоянных магнитов (по ГОСТ 4402-48)

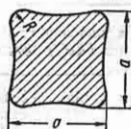
| Сплавы | Режим термообработки | Магнитные свойства | | |
|--------|---------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| | | B_r в гс | H_c в э | Удельная магнитная энергия $\left(\frac{BH}{8\pi}\right)_{\max}$ в эрг/см ³ |
| | | не менее | | |
| АН1 | Закалка при 1200° С в кипящей воде | 7 000 | 250 | 26 000 |
| АН2 | Закалка при 1200° С в кипящей воде и отпуск при 550° С | 6 000 | 430 | 36 000 |
| АН3 | Нормализация при 1100° С | 5 000 | 500 | 36 000 |
| АНК | Нормализация при 1200° С | 4 000 | 750 | 43 000 |
| АНКО1 | Нормализация при 1250° С | 6 800 | 500 | 55 000 |
| АНКО2 | Нормализация при 1300° С | 7 500 | 600 | 60 000 |
| АНКО3 | Закалка при 1300° С в магнитном поле | 9 000 | 6500 | 97 000 |
| АНКО4 | Скорость охлаждения 5°/сек. до 500° С и отпуск при 600° С | 12 300 | 500 | 15 000 |

Примечание. Для магнитов из сплавов АНКО3 и АНКО4 указанные магнитные свойства относятся к направлению приложенного магнитного поля при термомагнитной обработке.

СОРТАМЕНТ СТАЛИ

Болванка обжатая и заготовка

Таблица 52

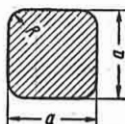


Сортамент обжатой болванки в мм (по ГОСТ 4692-49)

| Сторона квадрата a | Радиус закругления углов R | Допускаемые отклонения по стороне квадрата | Сторона квадрата a | Радиус закругления углов R | Допускаемые отклонения по стороне квадрата |
|----------------------|------------------------------|--------------------------------------------|----------------------|------------------------------|--------------------------------------------|
| 150 | 20 | ± 5 | 230 | 35 | ± 7 |
| 160 | 20 | | 240 | 35 | |
| 170 | 25 | | 250 | 35 | |
| 180 | 25 | | 260 | 40 | |
| 190 | 25 | | 270 | 40 | |
| 200 | 30 | ± 6 | 280 | 40 | ± 8 |
| 210 | 30 | | 300 | 45 | |
| 220 | 35 | | 350 | 50 | |
| | | | 400 | 60 | |
| | | | 450 | 60 | |

Примечание. Сторона a измеряется по краям болванки (см. эскиз).

Таблица 53



Сортамент квадратной заготовки в мм (по ГОСТ 4693-51)

| Сторона квадрата a | Радиус закругления углов R | Допускаемые отклонения по стороне квадрата | Сторона квадрата a | Радиус закругления углов R | Допускаемые отклонения по стороне квадрата | | | |
|----------------------|------------------------------|--------------------------------------------|----------------------|------------------------------|--------------------------------------------|--------|------------------|--------|
| 40 | 7 | $+1,0$ | 110 | 18 | $+2,0$ | | | |
| 45 | | $-1,5$ | | | $-3,5$ | | | |
| 50 | | 9 | | | $+1,3$ $-2,0$ | 115 | 21 | $+2,4$ |
| 55 | | | | | | 120 | | $-4,0$ |
| 60 | | | | | | 125 | | 25 |
| 65 | 130 | | | | | $-5,0$ | | |
| 70 | 140 | | | | | 30 | | |
| 75 | 150 | $-6,0$ | | | | | | |
| 80 | 160 | 15 | | | 200 | | $+1,8$ $-3,0$ | |
| 85 | 170 | | | | | | | |
| 90 | 180 | | | | | | | |
| 95 | 190 | | | | | | | |
| 100 | 200 | | | | | | | |

Примечания к табл. 52 и 53: 1. Разность двух любых сторон обжатой болванки или заготовки не должна превышать половины допуска (суммы отклонений) по стороне квадрата.

2. По соглашению сторон для обжатой болванки, предназначенной для поковки осей, радиус закругления угла может быть допущен около $0,2 a$.

3. Нормальная (немерная) длина обжатой болванки и заготовки стали обыкновенного качества:

| | | | | | | |
|-------------|-------|--------|------|------|------|---|
| при стороне | от 40 | до 100 | мм — | от 3 | до 9 | м |
| " | " | 105 | " | 2 | " | 8 |
| " | " | 160 | " | 2 | " | 6 |
| " | " | 210 | " | 1,5 | " | 4 |
| " | " | 260 | " | 1 | " | 4 |

Сталь сортовая и профильная горячекатанная

Сталь прокатная. Профили разных назначений (ГОСТ 5157-53). Рельсы двухголовые. Рельсы тавровые. Рельсы типа Р-5 для наземных и подземных путей. Швеллеры с отогнутой полкой для вагонеток. Сталь полосовая для косых шайб. Сталь овальная. Сталь для серпов. Сталь для коньков. Профиль для тормозных шин. Сталь сегментная.

Сталь специальных профилей для сельскохозяйственных машин (ГОСТ 3294-53). Сталь двутавровая низкая. Сталь двутавровая усиленная. Сталь тавровая. Сталь коробчатая. Сталь коробчатая тонкостенная. Сталь корытная. Сталь низкорытная. Сталь полосовая с утолщением. Сталь кругложелобчатая. Сталь одножелобчатая. Сталь одножелобчатая загнутая. Сталь овальная. Сталь зетобразная. Сталь зетовая. Сталь бичевая гладкая. Сталь подбичниковая. Сталь бичевая ребристая. Сталь полосовая с закругленными углами. Сталь полосовая, усиленная на концах. Сталь двусторонне усиленная. Труба квадратная. Труба прямоугольная. Труба треугольная. Сталь углобульбовая. Сталь угловая равнобокая тонкостенная. Сталь угловая неравнобокая тонкостенная.

Сталь прокатная специальных профилей для судостроения. ГОСТ 5353-52. Сталь полособульбовая. Сталь зетовая.

ГОСТ 5210-50. Сталь прокатная специальных профилей для напильников и распилов.

Профили прямоугольного, сегментного, круглого, квадратного, трехгранного, клинообразного, мечеобразного, полового и других сечений.

ГОСТ 5267-50. Сталь прокатная специальных профилей для паровозов и вагоностроения.

Сталь зетовая для хребтовой балки вагонов; двутавровая для хребтовой балки вагонов. Швеллеры для вагонов. Зетовая сталь для вагонов. Стойка для вагонов. Дверной вагонный рельс. Сталь корытная для дверей вагонов. Сталь для упорных планок. Угольник локовой рамки. Сталь рессорная желобчатая для паровозов и вагонов, рессорная гладкая для паровозов и вагонов, рессорная гладкая загнутая для паровозов. Сталь для опоры рессорной полвески. Сталь пружинная гладкая для паровозов и вагонов. Сталь для пружин вагонных тележек. Сталь для вставки триангеля вагонов. Сталь полосовая с закругленными краями для клина автосцепки. Сталь для бандажных колец. Сталь углобульбовая для вагонов. Верхний рельс крытого товарного вагона. Сталь для верхнего наконечника рессоры Галахова. Сталь для нижнего наконечника рессоры Галахова.

Рельсы железнодорожные для дорог широкой колеи (ГОСТ 3542-47 и 7173-54). Рельсы железнодорожные узкой колеи (ГОСТ 5365-52)

Таблица 54

Горячекатанная сталь круглая (по ГОСТ 2590-51), квадратная (по ГОСТ 2591-51) и шестигранная (по ГОСТ 2879-51)

| Диаметр, сторона квадрата или диаметр вписанного круга шестигранной стали в мм | Теоретический вес 1 пог. м стали в кг | | | Диаметр, сторона квадрата или диаметр вписанного круга шестигранной стали в мм | Теоретический вес 1 пог. м стали в кг | | |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------|--------------|
| | Круглая | Квадратная | Шестигранная | | Круглая | Квадратная | Шестигранная |
| 5 | 0,154 | — | — | 33 | 6,71 | — | — |
| 5,5 | 0,187 | — | — | 34 | 7,13 | — | 7,86 |
| 6 | 0,222 | 0,283 | — | 35 | 7,55 | 9,62 | 8,33 |
| 6,5 | 0,260 | — | — | 36 | 7,99 | — | 8,81 |
| 7 | 0,302 | 0,385 | — | 37 | 8,44 | — | — |
| 8 | 0,395 | 0,502 | 0,435 | 38 | 8,90 | 11,34 | 9,82 |
| 9 | 0,499 | 0,636 | 0,551 | 39 | 9,38 | — | 10,14 |
| 10 | 0,617 | 0,785 | 0,680 | 40 | 9,87 | 12,56 | 10,88 |
| 11 | 0,746 | 0,950 | 0,823 | 41 | — | — | 11,43 |
| 12 | 0,888 | 1,12 | 0,979 | 42 | 10,87 | — | 11,99 |
| 13 | 1,04 | — | 1,15 | 43 | 11,40 | — | 12,57 |
| 14 | 1,21 | 1,54 | 1,33 | 44 | 11,94 | — | 13,16 |
| 15 | 1,39 | 1,77 | 1,53 | 45 | 12,48 | 15,90 | 13,77 |
| 16 | 1,58 | 2,01 | 1,74 | 46 | — | — | 14,38 |
| 17 | 1,78 | — | 1,96 | 48 | 14,21 | — | 15,66 |
| 18 | 2,00 | 2,54 | 2,20 | 50 | 15,42 | 19,63 | 16,99 |
| 19 | 2,23 | — | 2,45 | 52 | 16,67 | — | 18,38 |
| 20 | 2,47 | 3,14 | 2,72 | 54 | 17,98 | — | — |
| 21 | 2,72 | — | 3,00 | 55 | 18,65 | 23,75 | 20,56 |
| 22 | 2,98 | 3,80 | 3,29 | 56 | 19,33 | — | — |
| 23 | 3,26 | — | 3,60 | 57 | — | — | 22,09 |
| 24 | 3,55 | — | 3,92 | 58 | 20,74 | — | 22,87 |
| 25 | 3,85 | 4,91 | 4,25 | 60 | 22,19 | 28,26 | 24,50 |
| 26 | 4,17 | — | 4,59 | 62 | 23,70 | — | — |
| 27 | 4,49 | — | 4,96 | 63 | — | — | 26,98 |
| 28 | 4,83 | 6,15 | 5,33 | 65 | 26,05 | 33,17 | 28,70 |
| 29 | 5,19 | — | 5,72 | 68 | 28,51 | — | 31,40 |
| 30 | 5,55 | 7,06 | 6,12 | 70 | 30,21 | 38,46 | 33,30 |
| 31 | 5,92 | — | — | 72 | 31,97 | — | — |
| 32 | 6,31 | 8,04 | 6,96 | 75 | 34,64 | 44,15 | — |

Продолжение табл. 54

| Диаметр, сторона квадрата или диаметр вписанного круга шестигранной стали в мм | Теоретический вес 1 пог. м стали в кг | | | Диаметр, сторона квадрата или диаметр вписанного круга шестигранной стали в мм | Теоретический вес 1 пог. м стали в кг | | |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------|--------------|
| | Круглая | Квадратная | Шестигранная | | Круглая | Квадратная | Шестигранная |
| 78 | 37,51 | — | — | 125 | 96,33 | — | — |
| 80 | 39,46 | 50,25 | — | 130 | 104,20 | — | — |
| 85 | 44,55 | 56,72 | — | 140 | 120,84 | — | — |
| 90 | 49,94 | 63,58 | — | 150 | 138,72 | — | — |
| 95 | 55,64 | 70,85 | — | 160 | 157,83 | — | — |
| 100 | 61,65 | 78,50 | — | 170 | 178,18 | — | — |
| 105 | 67,97 | — | — | 180 | 199,76 | — | — |
| 110 | 74,60 | — | — | 190 | 222,57 | — | — |
| 115 | 81,54 | — | — | 200 | 246,62 | — | — |
| 120 | 88,78 | — | — | | | | |

Примечания: 1. Квадратная сталь изготавливается с прямыми углами (размеры сторон до 100 мм включительно) и с закругленными углами (размеры сторон свыше 100 мм).
2. Шестигранная сталь размерами профили более 70 мм, а также круглая и квадратная размерами более 200 мм изготавливается по соглашению между потребителем и изготовителем.

Таблица 55

Допускаемые отклонения

| А. Для круглой стали (по ГОСТ 2590-51) и квадратной (по ГОСТ 2591-51) | | |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Диаметр или сторона квадрата в мм | Допускаемые отклонения в мм | |
| | при обычной точности прокатки | при повышенной точности прокатки |
| 5—9 | +0,3; -0,5 | +0,1; -0,3 |
| 10—19 | +0,3; -0,5 | +0,2; -0,3 |
| 20—25 | +0,4; -0,5 | +0,2; -0,4 |
| 26—48 | +0,4; -0,75 | +0,2; -0,6 |
| 50—58 | +0,4; -1,0 | +0,2; -0,9 |
| 60—78 | +0,5; -1,1 | +0,3; -1,0 |
| 80—95 | +0,5; -1,3 | +0,4; -1,2 |
| 100—115 | +0,6; -1,7 | +0,5; -1,5 |
| 120—125 | +0,8; -2,0 | +0,6; -1,8 |
| 130—150 | +0,8; -2,0 | +0,6; -2,0 |
| 160—200 | +0,9; -2,5 | Не регламентируется |

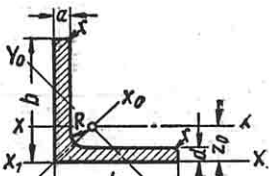
Примечания: 1. В квадратной стали размерами 105 мм и более повышенной точности прокатки допускаемые отклонения по стороне квадрата не регламентируются.
2. Овальность круглой стали, т. е. разность между наибольшим и наименьшим диаметрами в одном сечении, не должна превышать 0,5 допуска, установленного для стали соответствующей точности прокатки.

| Б. Для шестигранной стали (по ГОСТ 2879-51) | | |
|---------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Диаметр вписанного круга в мм | Допускаемое отклонение в мм | |
| | при обычной точности прокатки | при повышенной точности прокатки |
| 8—9 | +0,3; -0,5 | +0,1; -0,3 |
| 10—19 | +0,3; -0,5 | +0,2; -0,3 |
| 20—25 | +0,4; -0,5 | +0,2; -0,4 |
| 26—48 | +0,4; -0,75 | +0,2; -0,6 |
| 50—58 | +0,4; -1,0 | +0,2; -0,9 |
| 60—70 | +0,5; -1,1 | +0,3; -1,0 |

Таблица 57
Горячекатанная и кованая инструментальная сталь круглая и квадратная
(по ГОСТ 1133-41 и 5650-51)

| Размеры диаметра или стороны квадрата в мм | Допускаемые отклонения в мм (-) | | Размеры диаметра или стороны квадрата в мм | Допускаемое отклонение в мм (+) | |
|--------------------------------------------|---------------------------------|---------------|--------------------------------------------|---------------------------------|---------------|
| | Горячекатанная сталь | Кованая сталь | | Горячекатанная сталь | Кованая сталь |
| 6; 7; 8; 9; 10 | 0,5 | — | 75 | 1,8 | 3,0 |
| 11; 12; 13; 14 | 0,6 | — | 80; 85 | 2,0 | 3,0 |
| 15; 16; 17; 18; 19; 20 | 0,7 | — | 90 | 2,0 | 3,5 |
| 21; 22; 23; 24 | 0,8 | — | 95 | 2,2 | 3,5 |
| 25; 26; 27; 28; 29; 30 | 0,9 | — | 100 | 2,5 | 3,5 |
| 31 | 1,0 | — | 105 | 2,6 | 3,5 |
| 32 | 1,1 | — | 110; 115 | 2,6 | 4,0 |
| 33; 34; 35; 38 | 1,2 | — | 120; 125; 130; 135; 140; | 3,2 | 4,5 |
| 3 | 1,3 | 2,0 | 140; 145 | 3,5 | 4,5 |
| 40; 42; 45; 48; 50 | 1,4 | 2,0 | 150 | 3,5 | 5,0 |
| 52; 55; 60; 65; 70 | 1,6 | 2,5 | 155; 160; 165 | 4,0 | 6,0 |
| | | | 170; 175; 180 | 5,0 | 7,0 |

Круглая кованая быстрорежущая сталь поставляется дополнительно следующих размеров: 58; 63; 68 и 73 мм с допуском $\pm 2,5$ мм и 78 и 83 мм с допуском $\pm 3,0$ мм; горячекатанная размером 37 и 39 мм с допуском $\pm 1,2$ мм.



Угловая равнобокая сталь
(по ОСТ 10014-39)

Условные обозначения:

- b — ширина полки
- d — толщина полки
- R — радиус внутреннего закругления
- r — радиус закругления полки
- J — момент инерции
- J_x, J_y — радиусы инерции
- Z_0 — расстояние до центра тяжести

Стандартные размеры и справочные величины

| № профиля | Размеры в мм | | | | Площадь профиля в см ² | Вес 1 пог. м в кг | Справочные величины для осей | | | | | | | | |
|-----------|--------------|-----|-----|-----|-----------------------------------|-------------------|------------------------------|------------|---------------------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------|-----------------------------|------|-----------------|
| | b | d | R | r | | | $X-X$ | | X_0-X_0 | | Y_0-Y_0 | | X_1-X_1 | | γ_0 в см |
| | | | | | | | J_x в см ⁴ | r_x в см | J_{x_0} max в см ⁴ | r_{x_0} max в см | J_{y_0} min в см ⁴ | r_{y_0} min в см | J_{x_1} в см ⁴ | | |
| 2 | 20 | 3 | 3,5 | 1,2 | 1,13 | 0,89 | 0,40 | 0,60 | 0,63 | 0,75 | 0,17 | 0,39 | 0,81 | 0,60 | |
| | | 4 | | | 1,46 | 1,15 | 0,49 | 0,58 | 0,78 | 0,73 | 0,21 | 0,38 | 1,09 | 0,64 | |
| 2,5 | 25 | 3 | 3,5 | 1,2 | 1,43 | 1,12 | 0,80 | 0,75 | 1,28 | 0,95 | 0,32 | 0,47 | 1,56 | 0,73 | |
| | | 4 | | | 1,86 | 1,46 | 1,02 | 0,74 | 1,63 | 0,94 | 0,41 | 0,47 | 2,12 | 0,77 | |
| 3 | 30 | 4 | 4,5 | 1,5 | 2,27 | 1,78 | 1,82 | 0,90 | 2,90 | 1,13 | 0,75 | 0,58 | 3,62 | 0,89 | |
| | | 5 | | | 2,78 | 2,18 | 2,20 | 0,89 | 3,47 | 1,12 | 0,93 | 0,58 | 4,58 | 0,93 | |
| 3,5 | 35 | 4 | 4,5 | 1,5 | 2,67 | 2,10 | 3,02 | 1,06 | 4,77 | 1,34 | 1,27 | 0,69 | 5,74 | 1,01 | |
| | | 5 | | | 3,28 | 2,57 | 3,61 | 1,05 | 5,71 | 1,32 | 1,51 | 0,68 | 7,23 | 1,05 | |
| 4 | 40 | 4 | 5,0 | 1,7 | 3,08 | 2,42 | 4,60 | 1,22 | 7,26 | 1,53 | 1,93 | 0,79 | 8,53 | 1,13 | |
| | | 5 | | | 3,79 | 2,97 | 5,54 | 1,21 | 8,75 | 1,52 | 2,34 | 0,78 | 10,70 | 1,17 | |
| | | 6 | | | 4,48 | 3,52 | 6,41 | 1,20 | 10,10 | 1,50 | 2,70 | 0,78 | 13,00 | 1,21 | |

Таблица 58

Продолжение табл. 59

| № профиля | Размеры в мм | | | | Площадь профиля в см ² | Вес 1 пог. м в кг | Справочные величины для осей | | | | | | | Z ₀ в см |
|-----------|--------------|----|-----|-----|--------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|------------------------|------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------|
| | b | d | R | r | | | X—X | | X ₀ —X ₀ | | Y ₀ —Y ₀ | | X ₁ —X ₁ | |
| | | | | | | | J _x в см ⁴ | r _x в см | J _{x0} max в см ⁴ | r _{x0} max в см | J _{y0} min в см ⁴ | r _{y0} min в см | | |
| 4,5 | 45 | 4 | 5,0 | 1,7 | 3,48 | 2,73 | 6,60 | 1,38 | 10,50 | 1,74 | 2,68 | 0,88 | 12,10 | 1,26 |
| | | 5 | | | 4,29 | 3,37 | 8,00 | 1,37 | 12,70 | 1,72 | 3,26 | 0,87 | 15,30 | 1,30 |
| | | 6 | | | 5,08 | 3,99 | 9,29 | 1,35 | 14,80 | 1,71 | 3,78 | 0,86 | 18,40 | 1,34 |
| 5 | 50 | 5 | 5,5 | 1,8 | 4,80 | 3,77 | 11,2 | 1,53 | 17,8 | 1,92 | 4,61 | 0,98 | 20,9 | 1,42 |
| | | 6 | | | 5,69 | 4,47 | 13,1 | 1,52 | 20,7 | 1,91 | 5,39 | 0,97 | 25,2 | 1,46 |
| 6 | 60 | 5 | 6,5 | 2,2 | 5,82 | 4,57 | 19,9 | 1,85 | 31,4 | 2,32 | 8,29 | 1,19 | 35,9 | 1,66 |
| | | 6 | | | 6,91 | 5,42 | 23,3 | 1,84 | 36,8 | 2,31 | 9,76 | 1,19 | 43,3 | 1,70 |
| | | 7 | | | 7,97 | 6,26 | 26,4 | 1,82 | 41,3 | 2,29 | 11,1 | 1,18 | 50,7 | 1,74 |
| | | 8 | | | 9,03 | 7,09 | 29,6 | 1,81 | 46,8 | 2,28 | 12,4 | 1,17 | 58,2 | 1,78 |
| 6,5 | 65 | 6 | 8,0 | 2,7 | 7,55 | 5,93 | 29,8 | 1,9 ^a | 47,2 | 2,50 | 12,3 | 1,28 | 54,8 | 1,82 |
| | | 7 | | | 8,71 | 6,84 | 33,9 | 1,97 | 53,7 | 2,49 | 14,0 | 1,28 | 64,3 | 1,86 |
| | | 8 | | | 9,87 | 7,75 | 38,1 | 1,96 | 60,3 | 2,48 | 15,8 | 1,27 | 73,7 | 1,90 |
| | | 9 | | | 11,0 | 8,63 | 41,7 | 1,95 | 66,1 | 2,46 | 17,3 | 1,26 | 83,3 | 1,94 |
| | | 10 | | | 12,1 | 9,51 | 45,4 | 1,94 | 72,0 | 2,44 | 18,8 | 1,25 | 92,9 | 1,98 |
| 7,5 | 75 | 6 | 9,0 | 3,0 | 8,78 | 6,89 | 46,7 | 2,31 | 73,3 | 2,89 | 20,1 | 1,51 | 83,9 | 2,06 |
| | | 7 | | | 10,1 | 7,96 | 53,4 | 2,29 | 84,1 | 2,88 | 22,7 | 1,49 | 98,4 | 2,10 |
| | | 8 | | | 11,5 | 9,03 | 60,1 | 2,28 | 94,9 | 2,87 | 25,3 | 1,48 | 113 | 2,14 |
| | | 9 | | | 12,8 | 10,0 | 66,1 | 2,27 | 104 | 2,85 | 27,8 | 1,48 | 127 | 2,18 |
| | | 10 | | | 14,1 | 11,1 | 72,2 | 2,26 | 114 | 2,84 | 30,3 | 1,47 | 142 | 2,22 |
| | | 11 | | | 15,4 | 12,1 | 77,7 | 2,25 | 123 | 2,82 | 32,6 | 1,46 | 157 | 2,26 |
| | | 12 | | | 16,7 | 13,1 | 83,3 | 2,24 | 132 | 2,81 | 34,9 | 1,45 | 172 | 2,30 |
| 8 | 80 | 6 | 9,0 | 3,0 | 9,38 | 7,36 | 57,0 | 2,47 | 90 | 3,11 | 23,5 | 1,58 | 102 | 2,19 |
| | | 7 | | | 10,8 | 8,51 | 65,1 | 2,45 | 103 | 3,09 | 26,9 | 1,58 | 119 | 2,23 |

| № профиля | Размеры в мм | | | | Площадь профиля в см ² | Вес 1 пог. м в кг | Справочные величины для осей | | | | | | | |
|-----------|--------------|----|-----|-----|--------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------|
| | b | d | R | r | | | X - X | | X ₀ - X ₀ | | Y ₀ - Y ₀ | | X ₁ - X ₁ | |
| | | | | | | | J _x в см ⁴ | Γ _x в см | J _{x₀} в см ⁴ | Γ _{x₀} в см | J _{y₀} в см ⁴ | Γ _{y₀} в см | J _{x₁} в см ⁴ | Z ₀ в см |
| 8 | 80 | 8 | 9,0 | 3,0 | 12,3 | 9,66 | 73,3 | 2,44 | 116 | 3,07 | 30,3 | 1,57 | 137 | 2,27 |
| | | 9 | | | 13,7 | 10,7 | 80,8 | 2,43 | 128 | 3,06 | 33,4 | 1,57 | 154 | 2,31 |
| | | 10 | | | 15,1 | 11,9 | 88,4 | 2,42 | 140 | 3,05 | 36,5 | 1,56 | 172 | 2,35 |
| 9 | 90 | 8 | 11 | 3,7 | 14,0 | 11,0 | 106 | 2,76 | 168 | 3,46 | 43,6 | 1,77 | 194 | 2,51 |
| | | 9 | | | 15,6 | 12,2 | 117 | 2,75 | 186 | 3,45 | 48,3 | 1,77 | 219 | 2,55 |
| | | 10 | | | 17,2 | 13,5 | 128 | 2,74 | 204 | 3,44 | 53,1 | 1,76 | 244 | 2,59 |
| | | 11 | | | 18,8 | 14,8 | 138 | 2,72 | 220 | 3,42 | 57,4 | 1,76 | 269 | 2,63 |
| | | 12 | | | 20,4 | 16,0 | 149 | 2,71 | 237 | 3,41 | 61,7 | 1,75 | 294 | 2,67 |
| | | 13 | | | 21,9 | 17,2 | 159 | 2,70 | 252 | 3,39 | 66,8 | 1,75 | 319 | 2,70 |
| | | 14 | | | 23,4 | 18,4 | 169 | 2,69 | 267 | 3,38 | 71,9 | 1,75 | 345 | 2,74 |
| 10 | 100 | 8 | 12 | 4,0 | 15,6 | 12,3 | 147 | 3,07 | 233 | 3,87 | 61,0 | 1,98 | 265 | 2,75 |
| | | 9 | | | 17,4 | 13,7 | 163 | 3,06 | 258 | 3,86 | 67,9 | 1,98 | 299 | 2,79 |
| | | 10 | | | 19,2 | 15,1 | 179 | 3,05 | 284 | 3,85 | 74,9 | 1,97 | 333 | 2,83 |
| | | 11 | | | 21,0 | 16,5 | 194 | 3,04 | 307 | 3,83 | 81,1 | 1,97 | 367 | 2,87 |
| | | 12 | | | 22,8 | 17,9 | 209 | 3,03 | 331 | 3,81 | 87,6 | 1,96 | 402 | 2,91 |
| | | 13 | | | 24,5 | 19,2 | 223 | 3,02 | 353 | 3,80 | 93,3 | 1,96 | 437 | 2,95 |
| | | 14 | | | 26,3 | 20,6 | 237 | 3,01 | 375 | 3,78 | 99,1 | 1,95 | 472 | 2,99 |
| | | 15 | | | 28,0 | 22,0 | 251 | 3,00 | 395 | 3,77 | 106 | 1,95 | 507 | 3,03 |
| 12 | 120 | 10 | 13 | 4,3 | 23,3 | 18,3 | 316 | 3,68 | 503 | 4,64 | 130 | 2,36 | 575 | 3,33 |
| | | 11 | | | 25,4 | 20,0 | 343 | 3,67 | 546 | 4,63 | 141 | 2,36 | 634 | 3,37 |
| | | 12 | | | 27,6 | 21,7 | 371 | 3,66 | 590 | 4,62 | 153 | 2,35 | 693 | 3,41 |
| | | 13 | | | 29,8 | 23,4 | 397 | 3,65 | 630 | 4,60 | 163 | 2,35 | 752 | 3,45 |

Продолжение табл. 58

| № профиля | Размеры в мм | | | | Площадь профиля в см ² | Вес 1 пог. м в кг | Справочные величины для осей | | | | | | | Z ₀ в см |
|-----------|--------------|----|------|-----|--------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|------------------------|------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| | b | d | R | r | | | X - X | | X ₀ - X ₀ | | Y ₀ - Y ₀ | | X ₁ - X ₁ | |
| | | | | | | | J _x в см ⁴ | r _x в см | J _{x0} max в см ⁴ | r _{x0} max в см | J _{y0} min в см ⁴ | r _{y0} min в см | J _{x1} в см ⁴ | |
| 12 | 120 | 14 | 13,0 | 4,3 | 31,9 | 25,1 | 423 | 3,64 | 671 | 4,59 | 174 | 2,34 | 811 | 3,49 |
| | | 15 | | | 34,0 | 26,7 | 448 | 3,63 | 710 | 4,57 | 186 | 2,34 | 871 | 3,53 |
| | | 16 | | | 36,1 | 28,4 | 474 | 3,62 | 749 | 4,56 | 199 | 2,34 | 931 | 3,56 |
| | | 17 | | | 38,2 | 30,0 | 497 | 3,61 | 785 | 4,55 | 209 | 2,33 | 991 | 3,60 |
| | | 18 | | | 40,3 | 31,6 | 520 | 3,60 | 822 | 4,54 | 219 | 2,33 | 1052 | 3,64 |
| 13 | 130 | 10 | 13,0 | 4,3 | 25,3 | 19,8 | 406 | 4,01 | 646 | 5,05 | 166 | 2,56 | 730 | 3,58 |
| | | 11 | | | 27,7 | 21,7 | 441 | 4,00 | 702 | 5,04 | 181 | 2,56 | 805 | 3,62 |
| | | 12 | | | 30,0 | 23,6 | 477 | 3,99 | 759 | 5,03 | 196 | 2,55 | 880 | 3,66 |
| | | 13 | | | 32,4 | 25,4 | 511 | 3,97 | 812 | 5,01 | 209 | 2,55 | 955 | 3,70 |
| | | 14 | | | 34,7 | 27,3 | 545 | 3,96 | 866 | 5,00 | 223 | 2,54 | 1030 | 3,74 |
| | | 15 | | | 37,0 | 29,1 | 576 | 3,94 | 916 | 4,98 | 236 | 2,53 | 1106 | 3,78 |
| | | 16 | | | 39,3 | 30,9 | 608 | 3,93 | 967 | 4,96 | 249 | 2,52 | 1182 | 3,82 |
| 15 | 150 | 12 | 15,0 | 5,0 | 34,9 | 27,4 | 745 | 4,62 | 1186 | 5,83 | 305 | 2,98 | 1347 | 4,15 |
| | | 13 | | | 37,7 | 29,6 | 801 | 4,61 | 1272 | 5,81 | 330 | 2,98 | 1462 | 4,19 |
| | | 14 | | | 40,4 | 31,7 | 857 | 4,60 | 1358 | 5,80 | 356 | 2,97 | 1577 | 4,22 |
| | | 15 | | | 43,1 | 33,8 | 909 | 4,59 | 1440 | 5,78 | 377 | 2,96 | 1692 | 4,26 |
| | | 16 | | | 45,8 | 36,0 | 961 | 4,58 | 1522 | 5,77 | 399 | 2,95 | 1808 | 4,30 |
| | | 17 | | | 48,5 | 38,1 | 1010 | 4,57 | 1600 | 5,75 | 419 | 2,95 | 1924 | 4,34 |
| | | 18 | | | 51,1 | 40,1 | 1060 | 4,56 | 1679 | 5,73 | 440 | 2,94 | 2041 | 4,38 |
| | | 19 | | | 53,7 | 42,2 | 1107 | 4,54 | 1754 | 5,72 | 459 | 2,93 | 2158 | 4,42 |
| | | 20 | | | 56,4 | 44,3 | 1154 | 4,52 | 1830 | 5,70 | 478 | 2,91 | 2275 | 4,46 |
| 18 | 180 | 14 | 15,0 | 5,0 | 48,8 | 38,3 | 1515 | 5,57 | 2405 | 7,03 | 625 | 3,58 | 2721 | 4,97 |
| | | 15 | | | 52,1 | 40,9 | 1609 | 5,56 | 2555 | 7,01 | 664 | 3,57 | 2919 | 5,01 |

Продолжение табл. 58

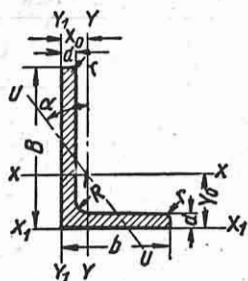
| № профиля | Размеры в мм | | | | Площадь профиля в см ² | Вес 1 пог. м в кг | Справочные величины для осей | | | | | | | | Z ₀ в см |
|-----------|--------------|----|------|-----|-----------------------------------|-------------------|----------------------------------|---------------------|---------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|------|---------------------|
| | b | d | R | r | | | X - X | | X ₀ - X ₀ | | Y ₀ - Y ₀ | | X ₁ - X ₁ | | |
| | | | | | | | J _x в см ⁴ | r _x в см | J _{x0} max в см ⁴ | r _{x0} max в см | J _{y0} min в см ⁴ | r _{y0} min в см | J _{x1} в см ⁴ | | |
| 18 | 180 | 16 | 15,0 | 5,0 | 55,4 | 43,5 | 1704 | 5,55 | 2705 | 7,00 | 703 | 3,56 | 3 117 | 5,05 | |
| | | 17 | | | 58,7 | 46,0 | 1794 | 5,53 | 2850 | 6,97 | 739 | 3,55 | 3 316 | 5,09 | |
| | | 18 | | | 61,9 | 48,6 | 1885 | 5,52 | 2994 | 6,94 | 775 | 3,54 | 3 515 | 5,13 | |
| 20 | 200 | 16 | 18,0 | 6,0 | 62,0 | 48,7 | 2355 | 6,17 | 3755 | 7,79 | 954 | 3,93 | 4 264 | 5,55 | |
| | | 17 | | | 65,6 | 51,5 | 2487 | 6,16 | 3960 | 7,78 | 1014 | 3,93 | 4 536 | 5,58 | |
| | | 18 | | | 69,3 | 54,4 | 2619 | 6,15 | 4165 | 7,77 | 1074 | 3,93 | 4 808 | 5,62 | |
| | | 19 | | | 72,9 | 57,2 | 2743 | 6,14 | 4362 | 7,75 | 1124 | 3,92 | 5 081 | 5,66 | |
| | | 20 | | | 76,5 | 60,1 | 2868 | 6,13 | 4560 | 7,74 | 1175 | 3,92 | 5 355 | 5,70 | |
| | | 22 | | | 83,7 | 65,7 | 3108 | 6,10 | 4936 | 7,70 | 1279 | 3,91 | 5 905 | 5,77 | |
| | | 24 | | | 90,8 | 71,3 | 3349 | 6,07 | 5313 | 7,66 | 1384 | 3,90 | 6 456 | 5,85 | |
| | | 27 | | | 101,2 | 79,8 | 3674 | 6,01 | 5843 | 7,57 | 1534 | 3,88 | 7 274 | 5,94 | |
| | | 30 | | | 111,5 | 88,3 | 3999 | 5,96 | 6373 | 7,49 | 1685 | 3,87 | 8 093 | 6,03 | |
| 22 | 220 | 16 | 21,0 | 7,0 | 68,4 | 53,7 | 3168 | 6,80 | 5046 | 8,59 | 1307 | 4,37 | 5 661 | 6,04 | |
| | | 18 | | | 76,4 | 60,0 | 3513 | 6,77 | 5583 | 8,55 | 1449 | 4,35 | 6 332 | 6,12 | |
| | | 20 | | | 84,5 | 66,4 | 3859 | 6,75 | 6120 | 8,51 | 1592 | 4,34 | 7 003 | 6,20 | |
| | | 22 | | | 92,4 | 72,6 | 4186 | 6,73 | 6634 | 8,47 | 1731 | 4,33 | 7 781 | 6,27 | |
| | | 24 | | | 100,4 | 78,8 | 4514 | 6,71 | 7148 | 8,44 | 1870 | 4,32 | 8 560 | 6,35 | |
| | | 26 | | | 108,2 | 84,9 | 4824 | 6,68 | 7639 | 8,40 | 2005 | 4,31 | 9 294 | 6,42 | |
| | | 28 | | | 115,9 | 91,0 | 5135 | 6,66 | 8130 | 8,37 | 2141 | 4,30 | 10 029 | 6,50 | |
| 23 | 230 | 24 | 20 | 7,0 | 105,3 | 82,6 | 5207 | 7,03 | 8266 | 8,86 | 2144 | 4,51 | 9 780 | 6,59 | |

Допускаемые отклонения в мм

| № профиля | По ширине полки | По толщине полки | |
|------------------|-----------------|---------------------|---------------------|
| | | Нормальная точность | Повышенная точность |
| От 2 до 4,5 вкл. | ±1,0 | +0,3; -0,5 | +0,2; -0,5 |
| " 5 " 9 " | ±1,5 | +0,4; -0,7 | +0,2; -0,7 |
| " 10 " 15 " | ±2,0 | +0,5; -0,8 | +0,2; -0,8 |
| " 18 " 20 " | ±4,0 | +0,5; -1,0 | +0,3; -1,0 |
| " 22 " 23 " | ±4,0 | +0,6; -1,5 | +0,3; -1,5 |

Таблица 59

Угловая неравнобокая сталь
(по ОСТ 10015-39)



Условные обозначения:

- B — ширина большей полки
- b — ширина меньшей полки
- d — толщина полки
- R — радиус внутреннего закругления
- r — радиус закругления полки
- J — момент инерции
- r_{min}, r_x, r_y — радиусы инерции
- X_0, Y_0 — расстояния до центров тяжести

Стандартные размеры и справочные величины

| № профиля | Размеры в мм | | | | | Площадь профиля г см^2 | Вес 1 пог. м в кг | Справочные величины для осей | | | | | | | | | | |
|-----------|--------------|-----|-----|-----|-----|---------------------------------|-------------------|------------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------|---------------------|----------------------------|
| | B | b | d | R | r | | | Ось $X-X$ | | Ось $Y-Y$ | | Ось X_1-X_1 | | Ось Y_1-Y_1 | | Ось $U-U$ | | |
| | | | | | | | | J_x в см^4 | r_x в см | J_y в см^4 | r_y в см | J_{x_1} в см^4 | Расстояние центра тяжести Y_0 в см | J_{y_1} в см^4 | Расстояние центра тяжести X_0 в см | J_u в см^4 | r_u в см | Угол наклона оси U к X |
| 3/2 | 30 | 20 | 3 | 3,5 | 1,2 | 1,43 | 1,12 | 1,27 | 0,94 | 0,45 | 0,56 | 2,69 | 1,00 | 0,82 | 0,51 | 0,26 | 0,43 | 0,430 |
| | | | 4 | | | 1,86 | 1,46 | 1,61 | 0,93 | 0,56 | 0,55 | 3,61 | 1,04 | 1,12 | 0,55 | 0,34 | 0,43 | 0,422 |
| 3,5/2 | 35 | 20 | 4 | 3,5 | 1,2 | 2,06 | 1,62 | 2,48 | 1,10 | 0,53 | 0,53 | 5,62 | 1,25 | 1,11 | 0,51 | 0,37 | 0,42 | 0,320 |
| | | | 5 | | | 2,52 | 1,98 | 2,98 | 1,09 | 0,70 | 0,53 | 7,15 | 1,29 | 1,45 | 0,55 | 0,45 | 0,42 | 0,310 |
| 4,5/3 | 45 | 30 | 4 | 5,0 | 1,7 | 2,88 | 2,26 | 5,81 | 1,42 | 2,06 | 0,84 | 12,1 | 1,48 | 3,65 | 0,72 | 1,21 | 0,65 | 0,432 |
| | | | 6 | | | 4,18 | 3,28 | 8,15 | 1,40 | 2,85 | 0,83 | 18,3 | 1,56 | 5,65 | 0,82 | 1,69 | 0,64 | 0,423 |
| 6/4 | 60 | 40 | 5 | 7,0 | 2,3 | 4,83 | 3,79 | 17,4 | 1,90 | 6,19 | 1,13 | 35,8 | 1,95 | 10,8 | 0,97 | 3,62 | 0,87 | 0,432 |
| | | | 6 | | | 5,72 | 4,49 | 20,3 | 1,88 | 7,20 | 1,12 | 43,1 | 2,0 | 13,1 | 1,01 | 4,20 | 0,85 | 0,430 |
| | | | 8 | | | 7,44 | 5,84 | 25,8 | 1,86 | 9,04 | 1,10 | 57,9 | 2,08 | 17,9 | 1,09 | 5,39 | 0,85 | 0,420 |
| 7,5/5 | 75 | 50 | 5 | 8,0 | 2,7 | 6,11 | 4,80 | 34,9 | 2,39 | 12,5 | 1,43 | 69,9 | 2,39 | 20,9 | 1,17 | 7,24 | 1,09 | 0,435 |
| | | | 6 | | | 7,25 | 5,69 | 41,0 | 2,37 | 14,6 | 1,42 | 84,0 | 2,44 | 25,3 | 1,21 | 8,48 | 1,08 | 0,434 |
| | | | 8 | | | 9,47 | 7,43 | 52,4 | 2,35 | 18,6 | 1,40 | 113 | 2,52 | 34,3 | 1,29 | 10,9 | 1,07 | 0,423 |
| | | | 10 | | | 11,6 | 9,11 | 63,0 | 2,33 | 22,1 | 1,38 | 141 | 2,60 | 43,7 | 1,36 | 13,2 | 1,07 | 0,423 |
| 8,5/5 | 80 | 55 | 6 | 8,0 | 2,7 | 7,85 | 6,16 | 50,6 | 2,53 | 19,6 | 1,58 | 102 | 2,56 | 33,4 | 1,33 | 11,1 | 1,19 | 0,462 |
| | | | 8 | | | 10,3 | 8,06 | 64,9 | 2,51 | 24,9 | 1,56 | 136 | 2,64 | 45,3 | 1,41 | 14,3 | 1,19 | 0,458 |
| | | | 10 | | | 12,6 | 9,90 | 78,2 | 2,49 | 29,8 | 1,54 | 171 | 2,72 | 57,5 | 1,48 | 17,4 | 1,18 | 0,452 |

| № профиля | Размеры в мм | | | | | Площадь профиля в см ² | Вес 1 пог. м в кг | Справочные величины для осей | | | | | | | | | | |
|-----------|--------------|-----|----|----|-----|-----------------------------------|-------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------|------------|-----------------------|
| | B | b | d | R | r | | | Ось X—X | | Ось Y—Y | | Ось X ₁ —X ₁ | | Ось Y ₁ —Y ₁ | | Ось U—U | | |
| | | | | | | | | J _x в см ⁴ | Г _x в см | J _y в см ⁴ | Г _y в см | J _{x₁} в см ⁴ | Расстояние центра тяжести Y ₀ в см | J _{y₁} min в см ⁴ | Расстояние центра тяжести X ₀ в см | J _u min в см ⁴ | Г min в см | Угол наклона оси Ig α |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9/6 | 90 | 60 | 6 | 9 | 3 | 8,78 | 6,90 | 72,4 | 2,87 | 26,0 | 1,72 | 145 | 2,88 | 43,4 | 1,41 | 14,7 | 1,30 | 0,437 |
| | | | 8 | | | 11,5 | 9,08 | 93,2 | 2,85 | 33,2 | 1,70 | 194 | 2,96 | 58,6 | 1,49 | 19,3 | 1,29 | 0,433 |
| | | | 10 | | | 14,1 | 11,10 | 113,0 | 2,82 | 39,8 | 1,68 | 244 | 3,05 | 74,4 | 1,56 | 23,5 | 1,29 | 0,429 |
| 10/7,5 | 100 | 75 | 8 | 10 | 3,3 | 13,5 | 10,6 | 135 | 3,16 | 65,0 | 2,19 | 266 | 3,11 | 113 | 1,88 | 35,4 | 1,62 | 0,548 |
| | | | 10 | | | 16,7 | 13,1 | 163 | 3,13 | 78,5 | 2,17 | 333 | 3,20 | 143 | 1,96 | 42,6 | 1,60 | 0,545 |
| | | | 12 | | | 19,7 | 15,5 | 190 | 3,11 | 91,1 | 2,15 | 402 | 3,27 | 173 | 2,04 | 49,8 | 1,59 | 0,541 |
| 12/8 | 120 | 80 | 8 | 11 | 3,7 | 15,6 | 12,2 | 229 | 3,83 | 82,3 | 2,30 | 459 | 3,85 | 137 | 1,88 | 47,6 | 1,75 | 0,438 |
| | | | 10 | | | 19,2 | 15,1 | 279 | 3,81 | 99,6 | 2,27 | 575 | 3,93 | 178 | 1,96 | 57,7 | 1,73 | 0,436 |
| | | | 12 | | | 22,8 | 17,9 | 325 | 3,79 | 116 | 2,25 | 692 | 4,01 | 210 | 2,04 | 66,6 | 1,71 | 0,432 |
| 13/9 | 130 | 90 | 8 | 12 | 4,0 | 17,2 | 13,5 | 297 | 4,15 | 118 | 2,62 | 583 | 4,08 | 195 | 2,11 | 66,5 | 1,97 | 0,471 |
| | | | 10 | | | 21,3 | 16,7 | 362 | 4,12 | 143 | 2,59 | 731 | 4,15 | 245 | 2,19 | 81,4 | 1,95 | 0,469 |
| | | | 12 | | | 25,2 | 19,8 | 424 | 4,10 | 167 | 2,57 | 879 | 4,25 | 297 | 2,27 | 94,8 | 1,94 | 0,467 |
| | | | 14 | | | 29,1 | 22,8 | 484 | 4,08 | 189 | 2,55 | 1023 | 4,33 | 349 | 2,35 | 109 | 1,93 | 0,464 |
| 15/10 | 150 | 100 | 10 | 13 | 4,3 | 24,3 | 19,1 | 557 | 4,78 | 201 | 2,37 | 1120 | 4,81 | 335 | 2,35 | 115 | 2,18 | 0,439 |
| | | | 12 | | | 28,8 | 22,6 | 655 | 4,76 | 235 | 2,85 | 1347 | 4,90 | 405 | 2,43 | 137 | 2,18 | 0,437 |
| | | | 14 | | | 33,3 | 26,2 | 749 | 4,73 | 267 | 2,83 | 1575 | 4,98 | 476 | 2,51 | 156 | 2,16 | 0,434 |
| | | | 16 | | | 37,7 | 29,6 | 839 | 4,71 | 297 | 2,81 | 1804 | 5,06 | 549 | 2,59 | 175 | 2,15 | 0,430 |
| 18/12 | 180 | 120 | 12 | 14 | 4,7 | 34,9 | 27,4 | 1156 | 5,75 | 417 | 3,46 | 2325 | 5,79 | 695 | 2,82 | 240 | 2,62 | 0,440 |
| | | | 14 | | | 40,4 | 31,7 | 1325 | 5,73 | 476 | 3,44 | 2717 | 5,87 | 816 | 2,90 | 279 | 2,62 | 0,438 |
| | | | 16 | | | 45,8 | 35,9 | 1490 | 5,71 | 532 | 3,41 | 3111 | 5,95 | 939 | 2,98 | 309 | 2,60 | 0,436 |
| 20/12 | 200 | 120 | 12 | 14 | 4,7 | 37,3 | 29,2 | 1546 | 6,45 | 428 | 3,39 | 3188 | 6,64 | 695 | 2,68 | 259 | 2,64 | 0,364 |
| | | | 14 | | | 43,2 | 33,9 | 1776 | 6,42 | 489 | 3,36 | 3725 | 6,72 | 818 | 2,76 | 295 | 2,61 | 0,362 |
| | | | 16 | | | 49,0 | 38,4 | 1997 | 6,38 | 547 | 3,34 | 4264 | 6,80 | 941 | 2,84 | 331 | 2,60 | 0,360 |

Продолжение табл. 59

| № профиля | Размеры в мм | | | | | Площадь профиля в см ² | Вес 1 пог. м в кг | Справочные величины для осей | | | | | | | | | | |
|-----------|--------------|-----|----|----|-----|-----------------------------------|-------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------|------------|---------------------|
| | B | b | d | R | r | | | Ось X-X | | Ось Y-Y | | Ось X ₁ -X ₁ | | Ось Y ₁ -Y ₁ | | Ось U-U | | |
| | | | | | | | | J _x в см ⁴ | Γ _x в см | J _y в см ⁴ | Γ _y в см | J _{x₁} в см ⁴ | Расстояние центра тяжести Y ₀ в см | J _{y₁} в см ⁴ | Расстояние центра тяжести X ₀ в см | J _u min в см ⁴ | Γ min в см | Угол наклона оси Uα |
| 20/15 | 200 | 150 | 12 | 17 | 5,7 | 41,0 | 32,2 | 1666 | 6,37 | 810 | 4,44 | 3181 | 6,08 | 1347 | 3,62 | 436 | 3,26 | 0,552 |
| | | | 16 | | | 53,9 | 42,3 | 2155 | 6,32 | 1043 | 4,40 | 4272 | 6,27 | 1812 | 3,78 | 562 | 3,23 | 0,549 |
| | | | 18 | | | 60,3 | 47,3 | 2388 | 6,30 | 1153 | 4,38 | 4900 | 6,33 | 2048 | 3,85 | 623 | 3,21 | 0,548 |
| | | | 20 | | | 66,5 | 52,2 | 2614 | 6,27 | 1258 | 4,35 | 5344 | 6,41 | 2285 | 3,93 | 683 | 3,21 | 0,546 |

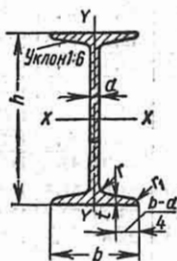
Допускаемые отклонения в мм

| № профиля | По ширине полки | По толщине полки | |
|--------------------------------|-----------------|---------------------|---------------------|
| | | Нормальная точность | Повышенная точность |
| От 3/2 до 4,5/3 вкл. | ±1,0 | +0,3; -0,5 | +0,2; -0,5 |
| « 6/4 « 9/6 вкл. | ±1,5 | +0,4; -0,7 | +0,2; -0,7 |
| « 10/7,5 до 15/10 вкл. | ±2,0 | +0,5; -0,8 | +0,2; -0,8 |
| « 18/12 и выше | ±4,0 | +0,5; -1,0 | +0,3; -1,0 |

Таблица 60

Балки двутавровые (по ГОСТ 10016-39)

Условные обозначения:



- h — высота балки
- b — ширина полки
- d — толщина стенки
- t — средняя толщина полки
- r — радиус внутреннего закругления
- r₁ — радиус закругления полки
- J — момент инерции
- W — момент сопротивления
- i — радиус инерции
- S — статический момент полусечения

| № профиля | Размеры в мм | | | | | | Площадь сечения в см ² | Вес 1 пог. м в кг | Справочные величины для осей | | | | | | |
|-----------|--------------|----|-----|------|-----|----------------|-----------------------------------|-------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------|
| | h | b | d | t | r | r ₁ | | | X-X | | | Y-Y | | | |
| | | | | | | | | | J _x в см ⁴ | W _x в см ³ | i _x в см | J _x ·S _x | J _y в см ⁴ | W _y в см ³ | i _y в см |
| 10 | 100 | 68 | 4,5 | 7,6 | 6,5 | 3,3 | 14,3 | 11,2 | 245 | 49,0 | 4,14 | 8,59 | 33,0 | 9,72 | 1,52 |
| 12 | 120 | 74 | 5,0 | 8,4 | 7,0 | 3,5 | 17,8 | 14,0 | 436 | 72,7 | 4,95 | 10,3 | 46,9 | 12,7 | 1,62 |
| 14 | 140 | 80 | 5,5 | 9,1 | 7,5 | 3,8 | 21,5 | 16,9 | 712 | 102 | 5,76 | 12,0 | 64,4 | 16,1 | 1,73 |
| 16 | 160 | 88 | 6,0 | 9,9 | 8,0 | 4,0 | 26,1 | 20,5 | 1130 | 141 | 6,58 | 13,8 | 93,1 | 21,2 | 1,89 |
| 18 | 180 | 94 | 6,5 | 10,7 | 8,5 | 4,3 | 30,6 | 24,1 | 1660 | 185 | 7,36 | 15,4 | 122 | 26,0 | 2,00 |

| № профиля | Размеры в мм | | | | | | Площадь сечения в см ² | Вес 1 пог. м в кг | Справочные величины для осей | | | | | | |
|-----------|--------------|-----|------|------|------|----------------|--------------------------------------|-------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------|
| | h | b | d | t | r | r ₁ | | | X—X | | | | Y—Y | | |
| | | | | | | | | | J _x в см ⁴ | W _x в см ³ | i _x в см | i _x ·S _x | J _y в см ⁴ | W _y в см ³ | i _y в см |
| 20 а | 200 | 100 | 7,0 | 11,4 | 9,0 | 4,5 | 35,5 | 27,9 | 2370 | 237 | 8,15 | 17,2 | 158 | 31,5 | 2,12 |
| 20 б | 200 | 102 | 9,0 | 11,4 | 9,0 | 4,5 | 39,5 | 31,1 | 2500 | 250 | 7,96 | 16,9 | 169 | 33,1 | 2,06 |
| 22 а | 220 | 110 | 7,5 | 12,3 | 9,5 | 4,8 | 42,0 | 33,0 | 3400 | 309 | 8,99 | 18,9 | 225 | 40,9 | 2,31 |
| 22 б | 220 | 112 | 9,5 | 12,3 | 9,5 | 4,8 | 46,4 | 36,4 | 3750 | 325 | 8,78 | 18,7 | 239 | 42,7 | 2,27 |
| 24 а | 240 | 116 | 8,0 | 13,0 | 10,0 | 5,0 | 47,7 | 37,4 | 4570 | 381 | 9,77 | 20,7 | 280 | 48,4 | 2,42 |
| 24 б | 240 | 118 | 10,0 | 13,0 | 10,0 | 5,0 | 52,6 | 41,2 | 4890 | 400 | 9,57 | 20,4 | 297 | 50,4 | 2,38 |
| 27 а | 270 | 122 | 8,5 | 13,7 | 10,5 | 5,3 | 54,6 | 42,8 | 6550 | 485 | 10,9 | 23,3 | 345 | 56,6 | 2,51 |
| 27 б | 270 | 124 | 10,5 | 13,7 | 10,5 | 5,3 | 60,0 | 47,1 | 6870 | 509 | 10,7 | 22,9 | 366 | 58,9 | 2,47 |
| 30 а | 300 | 126 | 9,0 | 14,4 | 11,0 | 5,5 | 61,2 | 48,0 | 8950 | 597 | 12,1 | 25,7 | 400 | 63,5 | 2,55 |
| 30 б | 300 | 128 | 11,0 | 14,4 | 11,0 | 5,5 | 67,2 | 52,7 | 9400 | 627 | 11,8 | 25,4 | 422 | 65,9 | 2,50 |
| 30 с | 300 | 130 | 13,0 | 14,4 | 11,0 | 5,5 | 73,4 | 57,4 | 9850 | 657 | 11,6 | 25,0 | 445 | 68,5 | 2,46 |
| 33 а | 330 | 130 | 9,5 | 15,0 | 11,5 | 5,8 | 68,1 | 53,4 | 11900 | 721 | 13,2 | 28,3 | 460 | 70,7 | 2,60 |
| 33 б | 330 | 132 | 11,5 | 15,0 | 11,5 | 5,8 | 74,7 | 58,6 | 12500 | 757 | 12,9 | 27,9 | 484 | 73,4 | 2,55 |
| 33 с | 330 | 134 | 13,5 | 15,0 | 11,5 | 5,8 | 81,3 | 63,8 | 13100 | 794 | 12,7 | 27,5 | 510 | 76,1 | 2,51 |
| 36 а | 360 | 136 | 10,0 | 15,8 | 12,0 | 6,0 | 76,3 | 59,9 | 15760 | 875 | 14,4 | 30,7 | 552 | 81,2 | 2,68 |
| 36 б | 360 | 138 | 12,0 | 15,8 | 12,0 | 6,0 | 83,5 | 65,6 | 16530 | 919 | 14,1 | 30,3 | 582 | 84,3 | 2,64 |
| 36 с | 360 | 140 | 14,0 | 15,8 | 12,0 | 6,0 | 90,7 | 71,2 | 17310 | 962 | 13,8 | 29,9 | 612 | 87,4 | 2,60 |
| 40 а | 400 | 142 | 10,5 | 16,5 | 12,5 | 6,3 | 86,1 | 67,6 | 21720 | 1090 | 15,9 | 34,1 | 660 | 93,2 | 2,77 |
| 40 б | 400 | 144 | 12,5 | 16,5 | 12,5 | 6,3 | 94,1 | 73,8 | 22780 | 1140 | 15,6 | 33,6 | 692 | 96,2 | 2,71 |
| 40 с | 400 | 146 | 14,5 | 16,5 | 12,5 | 6,3 | 102 | 80,1 | 23850 | 1190 | 15,2 | 33,2 | 727 | 99,6 | 2,65 |
| 45 а | 450 | 150 | 11,5 | 18,0 | 13,5 | 6,8 | 102 | 80,4 | 32240 | 1430 | 17,7 | 38,6 | 855 | 114 | 2,89 |
| 45 б | 450 | 152 | 13,5 | 18,0 | 13,5 | 6,8 | 111 | 87,4 | 33760 | 1500 | 17,4 | 38,0 | 894 | 118 | 2,84 |
| 45 с | 450 | 154 | 15,5 | 18,0 | 13,5 | 6,8 | 120 | 94,5 | 35280 | 1570 | 17,1 | 37,6 | 938 | 122 | 2,79 |
| 50 а | 500 | 158 | 12,0 | 20,0 | 14,0 | 7,0 | 119 | 93,6 | 46470 | 1860 | 19,7 | 42,8 | 1120 | 142 | 3,07 |
| 50 б | 500 | 160 | 14,0 | 20,0 | 14,0 | 7,0 | 129 | 101 | 48560 | 1940 | 19,4 | 42,4 | 1170 | 146 | 3,01 |
| 50 с | 500 | 162 | 16,0 | 20,0 | 14,0 | 7,0 | 139 | 109 | 50640 | 2080 | 19,0 | 41,8 | 1220 | 151 | 2,96 |
| 55 а | 550 | 166 | 12,5 | 21,0 | 14,5 | 7,3 | 134 | 105 | 62870 | 2290 | 21,6 | 46,9 | 1370 | 164 | 3,19 |
| 55 б | 550 | 168 | 14,5 | 21,0 | 14,5 | 7,3 | 145 | 114 | 65640 | 2390 | 21,2 | 46,4 | 1420 | 170 | 3,14 |
| 55 с | 550 | 170 | 16,5 | 21,0 | 14,5 | 7,3 | 156 | 123 | 68410 | 2490 | 20,9 | 45,8 | 1480 | 175 | 3,08 |
| 60 а | 600 | 176 | 13,0 | 22,0 | 15,0 | 7,5 | 151 | 118 | 83860 | 2800 | 23,5 | 51,8 | 1700 | 193 | 3,36 |
| 60 б | 600 | 178 | 15,0 | 22,0 | 15,0 | 7,5 | 163 | 128 | 87460 | 2920 | 23,2 | 50,7 | 1770 | 199 | 3,30 |
| 60 с | 600 | 180 | 17,0 | 22,0 | 15,0 | 7,5 | 175 | 137 | 91060 | 3040 | 22,8 | 50,2 | 1840 | 205 | 3,24 |

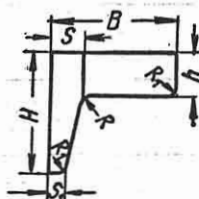
Примечание. Профили с индексами б и с изготавливаются по соглашению, когда необходимость таких профилей подтверждена соответствующими данными.

Допускаемые отклонения в мм

| № профиля | По высоте | По ширине полки | По толщине стенки | | | |
|------------------|-----------|-----------------|---------------------|------------|---------------------|--|
| | | | Нормальная точность | | Повышенная точность | |
| От 10 до 14 вкл. | ±2,0 | +1,0; -1,5 | +0,3; -0,6 | +0,2; -0,6 | | |
| 16 " 18 " | ±2,0 | +1,3; -2,0 | +0,3; -0,7 | +0,2; -0,7 | | |
| 20 " 36 " | ±3,0 | +1,7; -2,3 | +0,4; -1,0 | +0,2; -1,0 | | |
| 40 " 60 " | ±4,0 | +2,2; -3,0 | +0,5; -1,2 | +0,2; -1,2 | | |

Таблица 61

Угольники фланцевые (по ГОСТ 5443-50)



1. Размеры профилей устанавливаются следующие:

| Обозначение угольника | Размеры в мм | | | | | | | Площадь поперечного сечения в см ² | Вес 1 пог. м в кг |
|-----------------------|--------------|-----|----|----|----------------|----|----------------|-----------------------------------------------|-------------------|
| | B | H | h | S | S ₁ | R | R ₁ | | |
| № 1 | 70 | 65 | 28 | 18 | 10 | 6 | 5 | 24,8 | 19,5 |
| № 2 | 80 | 80 | 30 | 22 | 12 | 10 | 5 | 32,5 | 25,5 |
| № 3 | 100 | 95 | 34 | 26 | 14 | 12 | 7 | 46,2 | 36,3 |
| № 4 | 125 | 120 | 46 | 31 | 16 | 14 | 7 | 74,9 | 58,8 |

2. Допускаемые отклонения:

| | |
|--------------------|---------|
| для размеров B и H | ±2% |
| h | +1,0 мм |
| S и S ₁ | -1,7 " |
| | +0,8 " |
| | -1,0 " |

3. Профили поставляются в следующих длинах в м:

| | |
|------------------|------------|
| угольник № 1 | от 4 до 12 |
| угольник № 2 и 3 | " 4 " 15 |
| угольник № 4 | " 4 " 10 |

Примечание. По соглашению сторон профили могут поставляться длиной менее 4 м.

4. По соглашению сторон профили могут поставляться в мерных и кратных длинах, что оговаривается в заказе.

5. Допускаемые отклонения по мерной длине при нефрезерованных концах:

| | |
|---------------------------|---------|
| при длине профилей до 4 м | + 50 мм |
| " " " свыше 4 м | + 100 " |

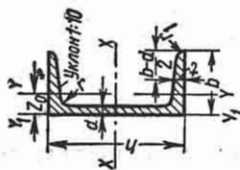
6. Измерение размеров профилей производится на расстоянии 300 мм от концов.

7. При вычислении теоретического веса 1 пог. м профиля удельный вес принимается равным 7,85.

8. Материал и технические условия: сталь марки Ст. 3 по ГОСТ 380-50.

Примечание. Для эмалированных аппаратов профили изготавливаются из стали марки 10 по ГОСТ 1050-52, причем содержание углерода не должно превышать 0,12%.

Швеллеры (по ГОСТ 10017-39)



Условные обозначения:

- h — высота швеллера
 b — ширина полки
 d — толщина стенки
 t — толщина полки
 r — средняя толщина полки
 r_0 — радиус внутреннего закругления
 J_y — момент инерции
 J_x — момент инерции
 J_0 — радиус инерции
 Z_0 — расстояние между осями $Y-Y$ и Y_1-Y_1

| № профиля | Размеры в мм | | | | | Вес 1 пог. м в кг | Справочные величины для осей | | | | | | | | |
|-----------|--------------|-----|-----|------|------|-------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------|-------|------|
| | h | b | d | t | r | | X-X | | Y-Y | | Y_1-Y_1 | | | | |
| | | | | | | | J_x в см ⁴ | J_y в см ⁴ | J_x в см ⁴ | J_y в см ⁴ | J_x в см ⁴ | J_y в см ⁴ | | | |
| 5 | 50 | 37 | 4,5 | 7,0 | 7,0 | 6,93 | 5,44 | 10,4 | 26,0 | 1,94 | 3,55 | 8,3 | 1,10 | 20,9 | 1,35 |
| 6,5 | 65 | 40 | 4,8 | 7,5 | 7,5 | 8,54 | 6,70 | 17,0 | 55,2 | 2,54 | 4,59 | 12,0 | 1,19 | 28,3 | 1,38 |
| 8 | 80 | 43 | 5,0 | 8,0 | 8,0 | 10,24 | 8,04 | 25,3 | 101,3 | 3,15 | 5,79 | 16,6 | 1,27 | 37,4 | 1,43 |
| 10 | 100 | 48 | 5,3 | 8,5 | 8,5 | 12,74 | 10,00 | 39,7 | 198,3 | 3,95 | 7,80 | 25,6 | 1,41 | 54,9 | 1,52 |
| 12 | 120 | 53 | 5,5 | 9,0 | 9,0 | 15,36 | 12,06 | 57,7 | 346,3 | 4,75 | 10,17 | 37,4 | 1,56 | 77,7 | 1,62 |
| 14 | 140 | 58 | 6,0 | 9,5 | 9,5 | 18,51 | 14,53 | 80,5 | 563,7 | 5,52 | 13,01 | 53,2 | 1,70 | 107,1 | 1,71 |
| | 140 | 60 | 8,0 | 9,5 | 9,5 | 21,31 | 16,73 | 87,1 | 698,4 | 5,35 | 14,12 | 61,1 | 1,69 | 120,6 | 1,67 |
| 16 | 160 | 63 | 6,5 | 10,0 | 10,0 | 21,95 | 17,23 | 108,3 | 866,2 | 6,28 | 16,30 | 73,3 | 1,83 | 144,1 | 1,90 |
| | 160 | 65 | 8,5 | 10,0 | 10,0 | 25,15 | 19,74 | 116,8 | 934,5 | 6,10 | 17,55 | 83,4 | 1,82 | 160,8 | 1,75 |
| 18 | 180 | 68 | 7,0 | 10,5 | 10,5 | 25,69 | 20,17 | 141,4 | 1 279,7 | 7,04 | 20,03 | 98,6 | 1,96 | 189,7 | 1,88 |
| | 180 | 70 | 9,0 | 10,5 | 10,5 | 29,29 | 22,99 | 152,2 | 1 369,9 | 6,84 | 21,52 | 111,0 | 1,95 | 210,1 | 1,84 |
| 20 | 200 | 73 | 7,0 | 11,0 | 11,0 | 28,83 | 22,63 | 178,0 | 1 780,4 | 7,86 | 24,20 | 128,0 | 2,11 | 244,0 | 2,01 |
| | 200 | 75 | 9,0 | 11,0 | 11,0 | 32,83 | 25,77 | 191,4 | 1 913,7 | 7,64 | 25,88 | 143,6 | 2,09 | 268,4 | 1,95 |
| 22 | 220 | 77 | 7,0 | 11,5 | 11,5 | 31,84 | 24,99 | 217,6 | 2 393,9 | 8,67 | 28,17 | 157,8 | 2,23 | 298,2 | 2,10 |
| | 220 | 79 | 9,0 | 11,5 | 11,5 | 36,24 | 28,45 | 233,8 | 2 571,4 | 8,42 | 30,05 | 176,4 | 2,21 | 326,3 | 2,03 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---|-----|-----|------|------|------|------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|------|--------|------|
| 24 | a | 240 | 78 | 7,0 | 12,0 | 12,0 | 6,0 | 34,21 | 26,55 | 254,3 | 3 052,2 | 9,45 | 30,47 | 173,8 | 2,25 | 324,6 | 2,10 |
| | b | 240 | 80 | 9,0 | 12,0 | 12,0 | 6,0 | 39,00 | 30,62 | 273,5 | 3 282,6 | 9,17 | 32,51 | 194,1 | 2,23 | 354,8 | 2,03 |
| | c | 240 | 82 | 11,0 | 12,0 | 12,0 | 6,0 | 43,81 | 34,39 | 292,7 | 3 513,0 | 8,96 | 34,42 | 213,4 | 2,21 | 386,1 | 2,00 |
| 27 | a | 270 | 82 | 7,5 | 12,5 | 12,5 | 6,25 | 39,27 | 30,83 | 323,1 | 4 362,0 | 10,54 | 35,52 | 215,6 | 2,34 | 393,1 | 2,13 |
| | b | 270 | 84 | 9,5 | 12,5 | 12,5 | 6,25 | 44,67 | 35,07 | 347,4 | 4 690,1 | 10,25 | 37,72 | 239,2 | 2,31 | 428,2 | 2,06 |
| | c | 270 | 86 | 11,5 | 12,5 | 12,5 | 6,25 | 50,07 | 39,30 | 371,7 | 5 018,1 | 10,10 | 39,79 | 231,4 | 2,28 | 466,8 | 2,03 |
| 30 | a | 300 | 85 | 7,5 | 13,5 | 13,5 | 6,75 | 43,89 | 34,45 | 403,2 | 6 047,9 | 11,72 | 41,10 | 259,5 | 2,43 | 466,5 | 2,17 |
| | b | 300 | 87 | 9,5 | 13,5 | 13,5 | 6,75 | 49,59 | 39,16 | 433,2 | 6 497,9 | 11,41 | 44,03 | 289,2 | 2,41 | 515,2 | 2,13 |
| | c | 300 | 89 | 11,5 | 13,5 | 13,5 | 6,75 | 55,89 | 43,81 | 463,2 | 6 947,9 | 11,15 | 46,38 | 315,8 | 2,38 | 559,7 | 2,09 |
| 33 | a | 330 | 83 | 8,0 | 14,0 | 14,0 | 7,0 | 49,50 | 38,70 | 489,5 | 8 076,8 | 12,80 | 46,65 | 307,5 | 2,50 | 547,6 | 2,21 |
| | b | 330 | 90 | 10,0 | 14,0 | 14,0 | 7,0 | 55,90 | 43,88 | 525,8 | 8 675,7 | 12,46 | 49,32 | 338,4 | 2,46 | 593,2 | 2,14 |
| | c | 330 | 92 | 12,0 | 14,0 | 14,0 | 7,0 | 62,50 | 49,06 | 562,1 | 9 274,7 | 12,18 | 51,81 | 367,9 | 2,43 | 643,2 | 2,10 |
| 36 | a | 360 | 96 | 9,0 | 16,0 | 16,0 | 8,0 | 60,89 | 47,80 | 659,7 | 11 874,2 | 13,97 | 63,54 | 455,0 | 2,73 | 818,4 | 2,44 |
| | b | 360 | 98 | 11,0 | 16,0 | 16,0 | 8,0 | 68,09 | 53,45 | 702,9 | 12 661,8 | 13,63 | 66,85 | 496,7 | 2,70 | 880,4 | 2,37 |
| | c | 360 | 100 | 13,0 | 16,0 | 16,0 | 8,0 | 75,29 | 59,10 | 746,1 | 13 429,4 | 13,36 | 70,02 | 536,4 | 2,67 | 947,9 | 2,34 |
| 40 | a | 400 | 100 | 10,5 | 18,0 | 18,0 | 9,0 | 75,05 | 58,91 | 878,9 | 17 577,9 | 15,30 | 78,83 | 592,0 | 2,81 | 1037,7 | 2,49 |
| | b | 400 | 102 | 12,5 | 18,0 | 18,0 | 9,0 | 83,05 | 65,19 | 932,2 | 18 644,5 | 14,98 | 82,52 | 640,0 | 2,78 | 1135,6 | 2,44 |
| | c | 400 | 104 | 14,5 | 18,0 | 18,0 | 9,0 | 91,05 | 71,47 | 935,6 | 19 711,2 | 14,71 | 86,19 | 687,8 | 2,75 | 1220,7 | 2,42 |

Примечание. Профили с индексами b и c изготавливаются по соглашению, когда необходимость таких профилей подтверждается соответствующими данными.

Допускаемые отклонения в мм

| № профиля | По высоте | | По ширине полки | | По толщине стенки | |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | Нормальная точность | Повышенная точность | Нормальная точность | Повышенная точность | Нормальная точность | Повышенная точность |
| От 5 до 8 вкл. | ±1,5 | ±1,2 | ±1,2 | ±1,0 | ±0,3 | ±0,5 |
| " 10 " 14 " | ±2,0 | ±1,5 | ±1,5 | ±1,0 | ±0,3 | ±0,6 |
| " 16 " 18 " | ±2,0 | ±2,0 | ±2,0 | ±1,5 | ±0,4 | ±0,7 |
| " 20 " 30 " | ±3,0 | ±2,0 | ±2,0 | ±1,5 | ±0,4 | ±0,9 |
| " 33 " 40 " | ±3,0 | ±2,0 | ±2,0 | ±1,0 | ±0,4 | ±1,0 |

Рельсы крановые специального профиля
(по ГОСТ 4121-52)

Основные размеры в мм

| Обозначение рельса | b | b_1 | b_2 | s | h | h_1 | h_2 | R | R_1 | R_2 | r | r_1 | r_2 |
|--------------------|------|-------|-------|-----|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| | КР70 | 70 | 76,5 | 120 | 28 | 120 | 32,5 | 24 | 400 | 23 | 38 | 6 | 6 |
| КР80 | 80 | 87 | 130 | 32 | 130 | 35 | 26 | 400 | 26 | 44 | 8 | 6 | 1,5 |
| КР100 | 100 | 108 | 150 | 38 | 150 | 40 | 30 | 450 | 30 | 50 | 8 | 8 | 2 |
| КР120 | 120 | 129 | 170 | 44 | 170 | 45 | 35 | 500 | 34 | 56 | 8 | 8 | 2 |

Длина рельсов — 9, 10, 11 и 12 м.

Допускаемые отклонения в мм

| | | | |
|-----------------------|----------|----------------------|-----------|
| По ширине головки b | $+1; -2$ | По высоте рельса h | ± 1 |
| " подошвы b_2 | $+1; -2$ | " длине " | ± 50 |
| " толщине шейки s | ± 1 | " прочим размерам | $\pm 0,6$ |

Несимметричность поперечного сечения относительно вертикальной оси в подошве не свыше 2 мм; в шейке и головке — не свыше 0,6 мм.

Теоретический вес 1 пог. м крановых рельсов в кг

| | |
|--------------|----------------|
| КР70 — 52,70 | КР100 — 88,73 |
| КР80 — 63,52 | КР120 — 117,89 |

Сталь калиброванная (холоднотянутая)

Калиброванная сталь круглая
(по ГОСТ 7417-55)

| Номинальный диаметр в мм | Класс точности | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------|------|------|
| | 3-й | 3а | 4-й | 5-й |
| | Допускаемое отклонение по диаметру (—) в мм | | | |
| 3,0 | 0,02 | 0,04 | 0,06 | 0,12 |
| 3,2; 3,4; 3,5; 3,6; 3,8; 4,0; 4,2; 4,5; 4,8; 5,0; 5,3; 5,5; 5,6; 5,8; 6,0 | 0,025 | 0,048 | 0,08 | 0,16 |
| 6,3; 6,5; 6,7; 7,0; 7,1; 7,5; 8,0; 8,5; 9,0; 9,5; 10,0 | 0,03 | 0,058 | 0,10 | 0,20 |
| 10,6; 11,0; 11,2; 11,5; 11,8; 12,0; 12,5; 13,2; 13,5; 14,0; 14,5; 15,0; 15,5; 16,0; 16,5; 17,0; 17,5; 18,0 | } 0,035 | 0,07 | 0,12 | 0,24 |
| 18,5; 19,0; 19,5; 20,0; 21,2; 22,0; 22,4; 24,0; 25,0; 26,5; 27,0; 28,0; 30,0 | | | | |
| 31,5; 33,0; 33,5; 35,5; 36,0; 37,5; 39,0; 40,0; 42,0; 42,5; 45,0; 47,5; 48,0; 50,0 | } 0,045 | 0,084 | 0,14 | 0,28 |
| 52; 53; 56; 58; 60; 63; 64; 65 | | | | |
| 67; 68; 71; 72; 75; 76; 80 | } 0,05 | 0,10 | 0,17 | 0,34 |
| 85; 90; 95; 100 | | | | |
| | 0,06 | 0,12 | 0,20 | 0,40 |
| | — | — | 0,20 | 0,40 |
| | — | — | 0,23 | 0,46 |

Примечание. По требованию заказчика до 1 января 1958 г. поставляются прутки диаметров 5,4; 6,2; 7,2; 7,9; 8,2; 8,7; 9,2; 9,8; 10,2; 10,4; 10,7; 11,3; 11,6; 12,2; 12,7; 13,3; 13,8; 14,3; 14,6; 15,2; 15,8; 16,3; 16,8; 17,2; 17,8; 18,2; 18,8; 19,2; 19,8; 20,4; 20,8; 21,5; 22,5; 23,5; 24,5; 25,5; 27,5; 28,5; 29,5; 30,5; 32,5; 34,5; 36,5; 38,5; 39,5; 41,5; 47; 57; 66; 78; 82; 88; 92; 98 мм.

Продолжение табл. 64

Дополнительные диаметры прутков для деталей под накатку резьбы (без покрытия)

| Диаметр прутков в мм | | Допускаемое отклонение (—) в мм |
|----------------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| Для резьбы метрической | | |
| основной | первой мелкой | |
| 3,53; 4,45; 5,33 | 3,66; 4,66 | 0,048 |
| 7,16; 8,98 | 7,33; 9,31 | 0,058 |
| 10,83; 12,68; 14,68; 16,32 | 11,6; 12,98; 14,98; 16,97 | 0,07 |
| 18,32; 20,32; 22,03; 25,03; 27,7 | 18,98; 20,97 | 0,084 |
| 30,7; 33,36; 39,05; 42,05; 44,67 | — | 0,10 |

Таблица 65

Калиброванная сталь квадратная (по ОСТ НКТП 7129) и шестигранная (по ОСТ НКТ 7130)

| Размер стороны квадрата или диаметра вписанного круга в мм | Площадь поперечного сечения в мм ² | | Теоретический вес 1 пог. м в кг | | Допускаемое отклонение в мм (—) | | Размер стороны квадрата или диаметра вписанного круга в мм | Площадь поперечного сечения в мм ² | | Теоретический вес 1 пог. м в кг | | Допускаемое отклонение в мм (—) | |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | Квадратная | Шестигранная | Квадратная | Шестигранная | 4-й класс точности (нормальная) | 5-й класс точности (автоматная) | | Квадратная | Шестигранная | Квадратная | Шестигранная | 4-й класс точности (нормальная) | 5-й класс точности (автоматная) |
| 5 | 25 | 21,65 | 0,195 | 0,170 | 0,08 | 0,16 | 26 | — | 585,4 | — | 4,60 | 0,14 | 0,28 |
| 5,5 | 30,25 | 26,19 | 0,237 | 0,206 | 0,08 | 0,16 | 27 | 729 | 631,3 | 5,72 | 4,96 | 0,14 | 0,28 |
| 6 | 36 | 31,18 | 0,283 | 0,245 | 0,08 | 0,16 | 28 | — | 678,9 | — | 5,33 | 0,14 | 0,28 |
| 6,5 | 42,25 | — | 0,332 | — | 0,08 | 0,16 | 28,6* | — | 708,4 | — | 5,56 | 0,14 | 0,28 |
| 7,0 | 49 | 42,43 | 0,385 | 0,333 | 0,10 | 0,20 | 30 | 900 | 779,4 | 7,05 | 6,12 | 0,14 | 0,28 |
| 8,0 | 64 | 55,42 | 0,502 | 0,435 | 0,10 | 0,20 | 32 | 1024 | 886,8 | 8,04 | 6,96 | 0,17 | 0,34 |
| 9,0 | 81 | 70,15 | 0,636 | 0,551 | 0,10 | 0,20 | 35 | 1225 | 1061 | 9,62 | 8,33 | 0,17 | 0,34 |
| 9,65* | 93,1 | — | 0,73 | — | 0,10 | 0,20 | — | — | — | — | — | — | — |
| 10 | 100 | 86,60 | 0,785 | 0,680 | 0,10 | 0,20 | 36 | 1296 | 1122 | 10,17 | 8,81 | 0,17 | 0,34 |
| 11 | 121 | 104,8 | 0,950 | 0,823 | 0,12 | 0,24 | 38 | — | 1250 | — | 9,81 | 0,17 | 0,34 |
| — | — | — | — | — | — | — | 40 | 1600 | — | 12,56 | — | 0,17 | 0,34 |
| 12 | 144 | 124,7 | 1,13 | 0,979 | 0,12 | 0,24 | 41 | 1681 | 1456 | 13,20 | 11,4 | 0,17 | 0,34 |
| 12,7* | 161,3 | — | 1,27 | 1,097 | 0,12 | 0,24 | 42,90* | — | 1594 | — | 12,51 | 0,17 | 0,34 |
| 14 | 196 | 169,7 | 1,54 | 1,33 | 0,12 | 0,24 | 44,5* | — | 1715 | — | 13,46 | 0,17 | 0,34 |
| 15 | 225 | 194,8 | 1,77 | 1,53 | 0,12 | 0,24 | 45 | 2025 | 1754 | 15,99 | 13,8 | 0,17 | 0,34 |
| 16 | 256 | 221,7 | 2,01 | 1,74 | 0,12 | 0,24 | 46 | 2116 | 1932 | 16,61 | 14,4 | 0,17 | 0,34 |
| 16,50* | 272,2 | — | 2,14 | — | 0,12 | 0,24 | 50 | 2500 | 2165 | 19,63 | 17,0 | 0,17 | 0,34 |
| 17 | 289 | 250,3 | 2,27 | 2,17 | 0,12 | 0,24 | 55 | 3025 | 2620 | 23,75 | 20,6 | 0,20 | 0,40 |
| 18 | 324 | — | 2,54 | — | 0,12 | 0,24 | — | — | — | — | — | — | — |
| 19 | 361 | 312,6 | 2,83 | 2,45 | 0,14 | 0,28 | 60 | 3600 | 3118 | 28,26 | 24,5 | 0,20 | 0,40 |
| 20 | 400 | — | 3,14 | — | 0,14 | 0,28 | 65 | 4225 | 3659 | 33,17 | 28,7 | 0,20 | 0,40 |
| — | — | — | — | — | — | — | 70 | 4900 | 4243 | 38,47 | 33,3 | 0,20 | 0,40 |
| 22 | 484 | 419,1 | 3,80 | 3,29 | 0,14 | 0,28 | 75 | 5625 | 4871 | 44,16 | 38,2 | 0,20 | 0,40 |
| 24 | 576 | 498,8 | 4,52 | 3,92 | 0,14 | 0,28 | 80 | 6400 | 5542 | 50,24 | 43,5 | 0,20 | 0,40 |
| 25 | 625 | — | 4,91 | — | 0,14 | 0,28 | — | — | — | — | — | — | — |

Примечание. Размеры, отмеченные звездочкой, изготавливаются только по особому заказу.

Таблица 66

Круглая сталь повышенной отделки поверхности и точности размеров
(ГОСТ 2589-44)

| Размеры диаметра в мм | Допускаемое отклонение в мм (—) | |
|------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------|
| | 3-й класс точности | 4-й класс точности |
| От 0,2 до 0,45 вкл. (через каждые 0,05 мм) | 0,015 | 0,05 |
| „ 0,5 „ 3,00 „ („ „ 0,05 „) | 0,02 | 0,05 |
| „ 3,05 „ 6,00 „ („ „ 0,05 „) | 0,025 | 0,03 |
| „ 6,1 „ 10,0 „ („ „ 0,10 „) | 0,03 | 0,10 |
| „ 10,25 „ 15,0 „ („ „ 0,25 „) | 0,035 | 0,12 |
| „ 15,5 „ 18,0 „ („ „ 0,50 „) | 0,035 | 0,12 |
| „ 18,5 „ 20,0 „ („ „ 0,50 „) | 0,045 | 0,14 |
| „ 21 „ 25 „ („ „ 1,0 „) | 0,045 | 0,14 |

Примечание. Серебрянка диаметром до 2 мм с согласия потребителя поставляется в мотках.

Сталь листовая и широкополосная

Таблица 67

Толстолистовая сталь (по ГОСТ 5681-51)

| Толщина в мм | Наибольшая длина листов в мм при ширине в мм | | | | | | | | | |
|--------------|----------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 600—1200 | 1201—1500 | 1501—1600 | 1601—1700 | 1701—1800 | 1801—2000 | 2001—2200 | 2201—2500 | 2501—2800 | 2801—3000 |
| 4 | 10 000 | 10 000 | 10 000 | 8 000 | 6 000 | — | — | — | — | — |
| 4,5—5,5 | 12 000 | 12 000 | 12 000 | 12 000 | 12 000 | 6 000 | — | — | — | — |
| 6—7 | 12 000 | 12 000 | 12 000 | 12 000 | 12 000 | 10 000 | — | — | — | — |
| 8—10 | 12 000 | 12 000 | 12 000 | 12 000 | 12 000 | 12 000 | 9 000 | 9 000 | — | — |
| 11—15 | 12 000 | 12 000 | 12 000 | 12 000 | 12 000 | 12 000 | 9 000 | 8 000 | 8 000 | 8 000 |
| 16—20 | 12 000 | 12 000 | 12 000 | 10 000 | 10 000 | 9 000 | 8 000 | 7 000 | 7 000 | 7 000 |
| 21—25 | 12 000 | 11 000 | 10 000 | 10 000 | 9 000 | 8 000 | 7 000 | 6 000 | 6 000 | 6 000 |
| 26—30 | 12 000 | 10 000 | 9 000 | 9 000 | 9 000 | 8 000 | 7 000 | 6 000 | 6 000 | 6 000 |
| 32—34 | 12 000 | 9 000 | 8 000 | 7 000 | 7 000 | 7 000 | 7 000 | 7 000 | 6 000 | 5 000 |
| 36—40 | 10 000 | 8 000 | 7 000 | 7 000 | 6 500 | 6 500 | 5 500 | 5 500 | 5 000 | — |
| 42—50 | 9 000 | 8 000 | 7 000 | 7 000 | 6 500 | 6 500 | 5 000 | 4 000 | — | — |
| 52—60 | 8 000 | 6 000 | 6 000 | 6 000 | 5 500 | 5 000 | 4 500 | 4 000 | — | — |

Толщина листов:

от 4 до 6 мм через 0,5 мм
 свыше 6 до 30 мм „ 1 „
 „ 30 мм „ 2 „

Ширина листа — любых размеров, кратных 50 мм, но не менее 600 мм и не более наибольших размеров, указанных в таблице

Длина листов — любых размеров, кратных 100 мм, но не менее 1200 мм и не более наибольших размеров, указанных в таблице.

Примечания: 1. Листы больших размеров для соответствующей толщины, а также листы толщиной свыше 60 мм изготавливаются по особому соглашению.

2. Вес листов определяется из расчета: средний вес листа площадью 1 м² при толщине его 1 мм равен 7,85 кг.

Продолжение табл. 67

Допускаемые отклонения по толщине листа
(в любой измеряемой точке) в мм

| Толщина листа | Ширина | | | | | | | | | | |
|------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 600— 1000 | 1050— 1200 | 1250— 1500 | 1550— 1700 | 1750— 1800 | 1850— 2000 | 2050— 2300 | 2350— 2500 | 2550— 2600 | 2650— 2800 | 2850— 3000 |
| 4—5 | +0,3 -0,5 | +0,4 -0,5 | +0,5 -0,5 | +0,5 -0,5 | +0,7 -0,5 | +0,9 -0,5 | | | | | |
| 6—7 | +0,3 -0,6 | +0,4 -0,6 | +0,4 -0,6 | +0,5 -0,6 | +0,7 -0,6 | +0,9 -0,6 | | | | | |
| 8—10 | +0,3 -0,8 | +0,3 -0,8 | +0,3 -0,8 | +0,4 -0,8 | +0,6 -0,8 | +0,8 -0,8 | +0,9 -0,8 | +1,0 -0,8 | | | |
| 11—25 | +0,2 -0,8 | +0,3 -0,8 | +0,3 -0,8 | +0,4 -0,8 | +0,6 -0,8 | +0,8 -0,8 | +0,9 -0,8 | +1,0 -0,8 | +1,2 -0,8 | +1,3 -0,8 | +1,4 -0,8 |
| 26—30 | +0,2 -0,9 | +0,3 -0,9 | +0,3 -0,9 | +0,4 -0,9 | +0,6 -0,9 | +0,8 -0,9 | +0,9 -0,9 | +1,0 -0,9 | +1,2 -0,9 | +1,3 -0,9 | +1,4 -0,9 |
| 32—34 | +0,3 -1,0 | +0,3 -1,0 | +0,4 -1,0 | +0,5 -1,0 | +0,6 -1,0 | +0,8 -1,0 | +1,0 -1,0 | +1,1 -1,0 | +1,3 -1,0 | +1,4 -1,0 | +1,5 -1,0 |
| 36—40 | +0,4 -1,1 | +0,4 -1,1 | +0,5 -1,1 | +0,6 -1,1 | +0,7 -1,1 | +0,9 -1,1 | +1,0 -1,1 | +1,2 -1,1 | +1,3 -1,1 | +1,4 -1,1 | — |
| 42—50 | +0,5 -1,2 | +0,6 -1,2 | +0,7 -1,2 | +0,8 -1,2 | +0,9 -1,2 | +1,1 -1,2 | +1,2 -1,2 | +1,4 -1,2 | — | — | — |
| 52—60 | +0,7 -1,3 | +0,8 -1,3 | +0,9 -1,3 | +1,0 -1,3 | +1,1 -1,3 | +1,3 -1,3 | +1,4 -1,3 | +1,5 -1,3 | — | — | — |

Допускаемые отклонения
по ширине листаДопускаемые отклонения
по длине листа

| Длина в мм | При толщине листов в мм | |
|------------------|---------------------------------------------------------|---------------|
| | до 16 вкл. | свыше 16 |
| Не свыше 8000 | При ширине до 2000 мм +10 мм, свыше 2000 мм +0,5% | +15 мм |
| Свыше 8000 | +0,2% длины | 0,5% длины |

| При толщине листов в мм | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| до 16 вкл. | свыше 16 |
| При длине в мм До 2000 . . . +10 мм 2000—7000 . . . +0,5% Свыше 7000 . . . +35 мм | При длине в мм До 3000 . . . +15 мм 3000—8000 . . . +0,5% Свыше 8000 . . . +40 мм |

Примечание. Допускаемые отклонения по ширине и длине листов, прокатанных на
станах непрерывной прокатки и поставляемых с необрезной продольной кромкой:

а) по ширине:

при ширине листов до 1100 мм +20 мм

" " св. 1100 " +30 "

б) по длине:

при длине листов до 3000 мм +20 "

" " св. 3000 мм +25 "

Рекомендуемые размеры листов для заказа потребителями,
на склады (складские размеры) в мм

| Толщина листа | Ширина и длина | | | | | |
|------------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | | | | |
| 4—5,5 | 1250×2500 | 1400×2800 | 1500×4200 | | | |
| | 600×1200 | 1400×4200 | 1500×4500 | | | |
| | 1000×2000 | 1400×4500 | 1500×5000 | | | |
| | | 1400×5000 | 1500×6000 | | | |
| | | 1400×6000 | | | | |
| 6—7 | 1250×2500 | 1400×2800 | 1500×4200 | 1600×4200 | | |
| | 1000×2000 | 1400×4200 | 1500×4500 | 1600×4500 | | |
| | | 1400×4500 | 1500×5000 | 1600×5000 | | |
| | | 1400×5000 | 1500×6000 | 1600×6000 | | |
| | | 1400×6000 | | | | |
| 8—9 | 1000×2000 | 1400×4200 | 1500×4500 | 1600×5000 | 1800×5000 | |
| | 1250×2500 | 1400×4500 | 1500×5000 | 1600×6000 | 1800×6000 | |
| | | 1400×5000 | 1500×6000 | 1600×7000 | 1800×7000 | |
| | | 1400×6000 | 1500×7000 | 1600×8000 | 1800×8000 | |
| | | | 1500×8000 | | | |
| 10—20 | 1000×2000 | 1400×4500 | 1500×4500 | 1600×5000 | 1800×5000 | 2000×5000 |
| | 1250×2500 | 1400×5000 | 1500×5000 | 1600×6000 | 1800×6000 | 2000×6000 |
| | | 1400×6000 | 1500×6000 | 1600×7000 | 1800×7000 | 2000×7000 |
| | | 1400×7000 | 1500×7000 | 1600×8000 | 1800×8000 | 2000×8000 |
| | | 1400×8000 | 1500×8000 | | | |
| 21—32 | 1250×2500 | 1400×5000 | 1500×5000 | 1600×5000 | 1800×5000 | 2000×5000 |
| | | 1400×6000 | 1500×6000 | 1600×6000 | 1800×6000 | 2000×6000 |
| | | 1400×7000 | 1500×7000 | 1600×7000 | 1800×7000 | 2000×7000 |
| | | 1400×8000 | 1500×8000 | 1600×8000 | 1800×8000 | 2000×8000 |
| 33 и более | | | 1500×5000 | 1600×5000 | 1800×5000 | 2000×5000 |
| | | | 1500×6000 | 1600×6000 | 1800×6000 | 2000×6000 |
| | | | 1500×7000 | 1600×7000 | 1800×7000 | 2000×7000 |
| | | | 1500×8000 | 1600×8000 | 1800×8000 | 2000×8000 |

Примечание. Завод-изготовитель может поставлять листы складских размеров шириной более 2000 мм с интервалом через 100 мм и длиной более 5000 мм с интервалом через 500 мм, если в заказе не оговорена неприемлемость поставки таких листов.

Таблица 68

Тонколистовая сталь
(по ГОСТ 3680-47)

| Толщина листов в мм | Складские размеры листов в мм | Нормальные размеры листов в мм | |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------|
| | Ширина, длина | Ширина | Длина |
| 0,9 | 600×1200 710×1420 750×1500 | 600—800 | 1200—1600 |
| 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4 | 710×1420 750×1500 1000×2000 | 710—1000 | 1420—2000 |
| 1,5; 1,75; 2,0; 2,25; 2,5; 2,75 | 710×1420 750×1500 1000×2000 1250×2500 | 710—1250 | 1420—2500 |
| 3,0; 3,75; 3,50; 3,25 | 710×1420 750×1500 1000×2000 1250×2500 1400×2800 | 710—1400 | 1420—2800 |

Примечание. Листы качественной стали изготавливаются толщиной от 0,2 до 4,0 мм. Размеры листов по толщине, ширине и длине — в соответствии с заказом.

Допускаемые отклонения в мм

| Толщина листов в мм | Обычная точность | Повышенная точность (±) | Высокая точность (±) |
|---------------------|-------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| | Листы из стали обычного качества и качественной | | Листы из качественной стали |
| 0,2; 0,3; 0,4 | | | |
| 0,5 | ±0,07 | 0,05 | 0,04 |
| 0,6 | ±0,08 | 0,06 | 0,05 |
| 0,7 | ±0,09 | 0,07 | 0,06 |
| 0,8 | ±0,10 | 0,08 | 0,06 |
| 0,9 | ±0,10 | 0,08 | 0,06 |
| 1,0; 1,10 | ±0,12 | 0,09 | 0,07 |
| 1,2; 1,3 | ±0,13 | 0,11 | 0,09 |
| 1,4; 1,5 | ±0,15 | 0,12 | 0,11 |
| 1,75 | ±0,16 | 0,14 | 0,12 |
| 2,0* | +0,15; -0,18 | 0,15 | 0,13 |
| 2,25* | +0,15; -0,19 | 0,16 | 0,14 |
| 2,50* | +0,16; -0,20 | 0,17 | 0,15 |
| 2,75; 3,0* | +0,17; -0,22 | 0,18 | 0,16 |
| 3,25; 3,50 | +0,18; -0,25 | 0,20 | 0,18 |
| 3,75 до 4,0* | +0,20; -0,30 | 0,22 | 0,20 |

* Для листов углеродистой стали шириной менее 1000 мм; для прочих марок сталей и листов углеродистой стали шириной более 1000 мм — плюсовые допуски равны минусовым.

Допускаемые отклонения по ширине листов

При ширине до 800 мм +6 мм
" " свыше 800 мм +10 "

Для листов, прокатанных на станах непрерывной прокатки:

горячекатанных +20 мм
холоднокатанных толщиной до 2 мм +10 "

Допускаемые отклонения по длине листов

При длине до 1500 мм +10 мм
" " свыше 1500 мм +15 "

Для листов, прокатанных на станах непрерывной прокатки:

при длине до 1500 мм +15 мм
" " свыше 1500 мм +25 "

Вес листов определяется из расчета: средний вес листа площадью 1 м² при толщине его 1 мм принимается равным 7,85 кг.

Таблица 69

Электротехническая тонколистовая сталь
(по ГОСТ 802-54)
Размеры в мм

| Марка стали | Толщина | Ширина | Длина |
|--------------------------------------------------------|---------|--------|-------|
| Э11 | 1,0 | 750 | 1500 |
| | 1,0 | 860 | 1720 |
| | 1,0 | 1000 | 2000 |
| Э11; Э12; Э21 | 0,50 | 600 | 1200 |
| | 0,50 | 670 | 1340 |
| Э11; Э12; Э21; Э31 | 0,50 | 750 | 1500 |
| | 0,50 | 860 | 1720 |
| | 0,50 | 1000 | 2000 |
| Э31; Э34; Э41; Э42; Э43; Э44; Э45; Э46; Э47; Э48 | 0,35 | 750 | 1500 |
| | 0,35 | 750 | 1500 |
| Э41; Э42; Э43 | 0,35 | 1000 | 2000 |
| Э310; Э320; Э330 | 0,50 | 600 | 1500 |
| | 0,50 | 750 | 1500 |
| Э310; Э320; Э330; Э340; Э370 | 0,35 | 240 | 1500 |
| | 0,35 | 750 | 1500 |
| Э340; Э370 | 0,20 | 240 | 1500 |
| Э41; Э42; Э43 | 0,50 | 750 | 1500 |
| | 0,50 | 860 | 1720 |
| | 0,50 | 1000 | 2000 |
| Э44; Э45; Э46; Э47; Э48 | 0,20 | 700 | 720 |
| | 0,20 | 700 | 1400 |
| | 0,15 | 700 | 720 |
| | 0,15 | 700 | 1400 |
| | 0,10 | 700 | 720 |
| | 0,10 | 700 | 1400 |

| Номинальная толщина в мм | Допускаемые отклонения по толщине в мм | | |
|--------------------------|----------------------------------------|----------------------|----------------------|
| | Листы горячекатаные | Листы холоднокатаные | |
| | | шириной до 600 мм | шириной свыше 600 мм |
| 1,0 | ±0,10 | — | — |
| 0,50 | ±0,05 | ±0,03 | ±0,04 |
| 0,35 | ±0,04 | ±0,02 | ±0,03 |
| 0,20 | ±0,04 | ±0,02 | — |
| 0,15 | ±0,02 | — | — |
| 0,10 | ±0,02 | — | — |

Сталь широкополосная универсальная
(по ГОСТ 82-51)

| Толщина в мм | Ширина в мм (через каждые 10 мм) |
|--------------|----------------------------------|
| 4 | 200—300 |
| 5 | 200—350 |

6; 7; 8; 9; 10; 12; 14; 16;
18; 20; 22; 25; 28; 30; 32;
36; 40; 45; 50

200—1050

Длина полосы от 5 до 18 м

Допускаемые отклонения в мм

| По толщине | | По ширине | |
|--------------|------------------------|-------------|------------------------|
| Толщина в мм | Допускаемое отклонение | Ширина в мм | Допускаемое отклонение |
| До 20 вкл. | +0,3; -0,5 | До 400 вкл. | +2,0; -2,5 |
| 22—30 | -0,4; -0,6 | 410—800 | +2,0; -3,0 |
| 32—50 | -0,5; -0,7 | 810—1050 | +3,0; -4,0 |

Продолжение

| По длине | |
|------------|------------------------|
| Длина в мм | Допускаемое отклонение |
| До 12 вкл. | + 8; -10 |
| 14—25 | +12; -15 |
| 28—50 | +15; -20 |

Ленты стальные

Таблица 70

Стальная горячекатанная лента
(по ГОСТ 6009-51)

| Ширина в мм | Теоретический вес 1 пог. м в кг при толщине в мм | | | | | |
|-------------|--------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 3,5 | 3,0 | 2,5 | 2,0 | 1,75 | 1,5 |
| 20 | 0,550 | 0,471 | 0,393 | 0,314 | 0,247 | 0,236 |
| 22 | 0,604 | 0,513 | 0,432 | 0,345 | 0,302 | 0,259 |
| 25 | 0,687 | 0,589 | 0,491 | 0,393 | 0,343 | 0,294 |
| 30 | 0,824 | 0,707 | 0,589 | 0,471 | 0,412 | 0,353 |
| 35 | 0,962 | 0,824 | 0,687 | 0,550 | 0,480 | 0,412 |
| 40 | 1,099 | 0,942 | 0,785 | 0,628 | 0,549 | 0,471 |
| 45 | 1,236 | 1,060 | 0,883 | 0,777 | 0,618 | 0,530 |
| 50 | 1,374 | 1,178 | 0,981 | 0,785 | 0,687 | 0,589 |
| 55 | 1,511 | 1,296 | 1,079 | — | — | — |
| 60 | 1,649 | 1,413 | 1,178 | — | — | — |
| 65 | 1,786 | 1,531 | 1,276 | — | — | — |
| 70 | 1,923 | 1,649 | 1,374 | — | — | — |
| 75 | 2,061 | 1,767 | 1,473 | — | — | — |
| 80 | 2,198 | 1,884 | 1,570 | — | — | — |
| 90 | 2,473 | 2,120 | 1,766 | — | — | — |
| 100 | 2,748 | 2,355 | 1,963 | — | — | — |
| 110 | 3,020 | 2,590 | 2,160 | — | — | — |
| 120 | 3,300 | 2,830 | 2,360 | — | — | — |
| 130 | 3,570 | 3,060 | 2,550 | — | — | — |
| 140 | 3,850 | 3,300 | 2,750 | — | — | — |
| 150 | 4,120 | 3,530 | 2,940 | — | — | — |
| 160 | 4,400 | 3,770 | — | — | — | — |
| 170 | 4,670 | 4,000 | — | — | — | — |
| 180 | 4,950 | 4,240 | — | — | — | — |
| 190 | 5,220 | 4,470 | — | — | — | — |
| 200 | 5,500 | 4,710 | — | — | — | — |

Допускаемые отклонения в мм

| По ширине | | По толщине | |
|-------------|------------------------|-------------|------------------------|
| Ширина в мм | Допускаемые отклонения | Ширина в мм | Допускаемые отклонения |
| До 55 вкл. | +0,8; -1,0 | До 100 вкл. | +0,15; -0,20 |
| Свыше 55 | +1,5; -2,0 | 110—150 | -0,20; -0,25 |
| | | 160 и выше | -0,25; -0,30 |

Лента стальная низкоуглеродистая холоднокатанная (ГОСТ 503-41)

Толщина 0,05; 0,06; 0,08; 0,10; 0,12; 0,15; 0,18; 0,20; 0,22; 0,25; 0,28; 0,30—1,95 (через 0,05 мм); 2,00—3,00 (через 0,10 мм)

Ширина: 4—20 (через 1 мм); 22—40 (через 2 мм); 43; 46; 50; 53; 56; 60; 63; 66; 70; 73; 80; 83; 86; 90; 93; 96; 100—250 (через 5 мм); 260; 270; 280; 290; 300.

Допускаемые отклонения по толщине ленты в мм

| Толщина ленты в мм | Нормальная точность (-) | Повышенная точность (-) |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|
| 0,05—0,08 | 0,015 | 0,01 |
| 0,10—0,15 | 0,02 | 0,015 |
| 0,18—0,25 | 0,03 | 0,02 |
| 0,28—0,40 | 0,04 | 0,03 |
| 0,45—0,70 | 0,05 | 0,04 |
| 0,75—0,95 | 0,07 | 0,05 |
| 1,00—1,35 | 0,09 | 0,06 |
| 1,40—1,75 | 0,11 | 0,08 |
| 1,80—2,30 | 0,13 | 0,10 |
| 2,35—3,00 | 0,16 | 0,12 |
| Свыше 3,0 | 0,20 | 0,16 |

Допускаемые отклонения по ширине лент в мм (-)

Лента обрезная

| Толщина ленты в мм | До 100 мм | | Свыше 100 мм | |
|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | Нормальная точность | Повышенная точность | Нормальная точность | Повышенная точность |
| 0,05—0,50 | 0,3 | 0,15 | 0,5 | 0,25 |
| 0,55—1,00 | 0,4 | 0,3 | 0,6 | 0,4 |
| Свыше 1,00 | 0,6 | 0,4 | 0,8 | 0,6 |

Лента необрезная

| Ширина ленты в мм | Допускаемое отклонение в мм |
|------------------------|-----------------------------|
| До 50 | +2; -1 |
| От 53 до 100 | +3; -2 |
| 105 до 200 | +4; -3 |
| Свыше 200 | +6; -5 |

Лента холоднокатанная из конструкционной стали (по ГОСТ 2284-43)

Толщина в мм: 0,10; 0,12; 0,13; 0,15; 0,18; 0,20; 0,25; 0,28; 0,30—1,95 (через каждые 0,05 мм); 2,0—3,0 (через каждые 0,1 мм).

Ширина в мм: 4; 5; 6; 8; 10; 12; 14; 15; 16; 18; 20; 22; 24; 25; 28; 30; 32; 34; 35; 36; 38; 40—90 (через каждые 5 мм); 100—200 (через каждые 10 мм).

Допускаемые отклонения по толщине ленты в мм (-)

| Толщина ленты в мм | Точность изготовления ленты | |
|--------------------|-----------------------------|------------|
| | Нормальная | Повышенная |
| 0,10—0,15 | 0,02 | 0,015 |
| 0,18—0,25 | 0,03 | 0,02 |
| 0,28—0,40 | 0,04 | 0,03 |
| 0,45—0,70 | 0,05 | 0,04 |
| 0,75—0,95 | 0,07 | 0,05 |
| 1,00—1,35 | 0,09 | 0,06 |
| 1,40—1,75 | 0,11 | 0,08 |
| 1,80—2,30 | 0,13 | 0,10 |
| 2,40—3,00 | 0,16 | 0,12 |

Допускаемые отклонения по ширине ленты в мм

Лента обрезная

| Толщина ленты в мм | Точность изготовления | |
|--------------------|-----------------------|------------|
| | Нормальная | Повышенная |
| 0,1—0,5 | -0,3 | -0,2 |
| 0,55 до 1,0 | -0,4 | -0,3 |
| Свыше 1,0 | -0,6 | -0,4 |

Лента необрезная

| Ширина ленты в мм | Допускаемое отклонение |
|--------------------|------------------------|
| До 50 | +2,0; -1,0 |
| Свыше 50 | +3,0; -2,0 |

Лента холоднокатанная инструментальная (по ГОСТ 1543-42)

1. Размеры прямоугольной ленты в мм:
 а) по толщине: 0,10; 0,12; 0,15; 0,18; 0,20; 0,22; 0,25; 0,28; 0,30; 0,32; 0,35; 0,38; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55; 0,60; 0,65; 0,70; 0,75; 0,80; 0,85; 0,90; 0,95; 1,00; 1,05; 1,10; 1,20; 1,30; 1,40; 1,50; 1,60; 1,70; 1,80;
 б) по ширине: 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 22; 25; 28; 30; 32; 35; 38; 40; 42; 45; 48; 50; 52; 55; 58; 60; 62; 65; 68; 70.

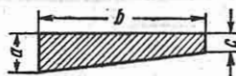
Допускаемые отклонения в мм

| По толщине | | По ширине | |
|--------------------|----------------------------|-------------------|------------------------|
| Толщина ленты в мм | Допускаемое отклонение (±) | Ширина ленты в мм | Допускаемое отклонение |
| 0,10—0,18 | 0,03 | До 25 | ±1,0 |
| 0,20—0,50 | 0,04 | 25—50 | +2,0; -1,0 |
| 0,55—0,60 | 0,05 | 55—70 | +3,0; -2,0 |
| 0,65—0,90 | 0,06 | | |
| 0,95—1,10 | 0,07 | | |
| 1,20—1,30 | 0,08 | | |
| 1,40—1,80 | 0,11 | | |

Разность по толщине в одном и том же месте ленты не более 0,05 мм.

2. Размеры поперечного сечения трапециевидной ленты и допускаемое отклонение в мм:

| Размеры в мм | | | Допускаемое отклонение в мм | | Разность по толщине (a-c) не менее | |
|--------------|------|------|-----------------------------|------------|------------------------------------|------------|
| b | a | c | по ширине | по толщине | 1-го сорта | 2-го сорта |
| 25 | 0,85 | 0,60 | +2,0 -1,0 | ±0,07 | 0,20 | 0,15 |
| 35 | 0,85 | 0,55 | +2,0 -1,0 | ±0,07 | 0,25 | 0,20 |



**Лента стальная пружинная
термообработанная (по ГОСТ 2614-55)**

По точности изготовления лента бывает повышенной точности (В), высокой точности (Т) и нормальной точности.

Размеры ленты в мм:

а) по толщине: 0,08; 0,10; 0,11; 0,12; 0,14; (0,15); 0,16; 0,18; 0,20; 0,22; 0,25; 0,26; (0,30); 0,32; 0,36; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55; 0,60; 0,70; 0,80; 0,90; 1,00; 1,10; 1,20; 1,40; 1,50;

б) по ширине: (1,5); 1,6; 1,8; 2; 2,2; 2,5; 2,8; 3; 3,6; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 14; (15); 16; 18; 20; 22; 25; 28; (30); 32; 36; 40; 45; 50; 55; 60; 70; 80.

Ленту, размеры которой указаны в скобках, применять не рекомендуется.

Допускаемые отклонения в мм (—)

| Толщина ленты в мм | Допускаемое отклонение при точности изготовления | | |
|--------------------|--------------------------------------------------|------------|---------|
| | нормальной | повышенной | высокой |
| <i>По толщине</i> | | | |
| 0,08—0,15 | 0,02 | 0,015 | 0,01 |
| 0,16—0,25 | 0,03 | 0,020 | 0,015 |
| 0,28—0,40 | 0,04 | 0,03 | 0,02 |
| 0,45—0,7 | 0,05 | 0,04 | 0,03 |
| 0,8—0,9 | 0,07 | 0,05 | 0,04 |
| 1,0—1,1 | 0,09 | 0,06 | 0,05 |
| 1,2—1,5 | 0,11 | 0,08 | 0,06 |
| <i>По ширине</i> | | | |
| 0,08—0,50 | 0,3 | 0,2 | 0,1 |
| 0,55—1,0 | 0,4 | 0,3 | 0,2 |
| 1,10—1,50 | 0,5 | 0,4 | 0,3 |

Проволока

Таблица 71

Проволока стальная низкоуглеродистая общего назначения в мм (по ГОСТ 3282-46)

| Номинальные диаметры | Допускаемое отклонение (—) | Номинальные диаметры | Допускаемое отклонение (—) |
|----------------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|
| 0,16 | 0,02 | 0,7 | 0,08 |
| 0,18 | 0,02 | 0,8 | 0,08 |
| 0,20 | 0,03 | 0,9 | 0,08 |
| 0,22 | 0,03 | 1,0 | 0,12 |
| 0,25 | 0,03 | 1,1 | 0,12 |
| 0,28 | 0,03 | 1,2 | 0,12 |
| 0,30 | 0,03 | 1,4 | 0,12 |
| 0,35 | 0,04 | 1,6 | 0,12 |
| 0,40 | 0,04 | 1,8 | 0,12 |
| 0,45 | 0,04 | 2,0 | 0,12 |
| 0,50 | 0,04 | 2,2 | 0,12 |
| 0,55 | 0,04 | 2,5 | 0,12 |
| 0,60 | 0,04 | 2,8 | 0,12 |

Продолжение табл. 71

| Номинальные диаметры | Допускаемое отклонение (—) | Номинальные диаметры | Допускаемое отклонение (—) |
|----------------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|
| 3,0 | 0,12 | 6,0 | 0,16 |
| 3,5 | 0,16 | 7,0 | 0,20 |
| 4,0 | 0,16 | 8,0 | 0,20 |
| 4,5 | 0,15 | 9,0 | 0,20 |
| 5,0 | 0,16 | 10,0 | 0,20 |
| 5,5 | 0,16 | | |

Проволока низкоуглеродистая ответственного назначения (по ГОСТ 792-41)

Проволока изготавливается следующих диаметров: 0,5; 0,8; 1; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2; 2,3; 2,6; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 6 мм.

Допускаемые отклонения по диаметру

| Номинальный диаметр проволоки в мм | Допускаемое отклонение (±) в мм |
|------------------------------------|---------------------------------|
| 0,5—1,4 | 0,06 |
| 1,6—2,0 | 0,07 |
| 2,3—3,5 | 0,08 |
| 4—6 | 0,09 |

Таблица 72

Проволока из конструкционной среднеуглеродистой стали (по ГОСТ 1982-50)

| Диаметр в мм | Допускаемое отклонение (—) в мм |
|------------------------------------------------------|---------------------------------|
| 0,30 | 0,035 |
| 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55; 0,60; 0,70; 0,80; 0,90 | 0,04 |
| 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6 | 0,06 |
| 1,7; 1,8; 1,9; 2,0; 2,5; 2,8; 3,0 | 0,07 |
| 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0 | 0,08 |
| 7,0 | 0,10 |

Пружинная проволока из углеродистой стали подразделяется на классы Н (нормальной прочности), П (повышенной прочности) и Б (высокой прочности).

Проволока классов Н и В подразделяется по пластичности на две группы, класса П — на три группы.

Углеродистая стальная пружинная проволока
(по ГОСТ 5047-49)

Таблица 73

| Диаметр проволоки в мм | Допускаемые отклонения в мм | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Класс В (все группы) | Класс П (все группы) и класс Н (I группа) | Класс Н (II группа) |
| 0,2; 0,22; 0,25; 0,28; 0,3—0,55 (через каждые 0,05 мм) 0,6—0,9 (через каждые 0,10 мм) 1; 1,1; 1,2; (1,3); 1,4; (1,5); 1,6; 1,8 2,0; 2,2; 2,5; 2,8; 3 3,5; 4; 4,5 5,0; 5,5; 6 7; 8 | +0,02 -0,01 ±0,02 +0,03 -0,02 +0,03 -0,02 +0,04 -0,02 +0,05 -0,03 +0,05 -0,03 — | +0,02 -0,01 +0,03 -0,01 +0,03 -0,02 +0,04 -0,02 +0,05 -0,02 +0,07 -0,03 +0,08 -0,03 +0,10 -0,05 | +0,03 -0,02 ±0,04 ±0,05 ±0,05 ±0,06 ±0,08 ±0,10 +0,10 -0,05 |

Примечание. Размеры, указанные в скобках, не рекомендуются.

Стальная углеродистая холоднотянутая проволока для клапанных пружин ответственного назначения (по ГОСТ 1070-41). Проволока изготавливается следующих диаметров: 2; 2,3; 2,5; 2,8; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 5,7; 6 мм.

Допускаемые отклонения по диаметру:

для проволоки с номинальным диаметром от 2 до 3 мм ±0,03 мм
для проволоки с номинальным диаметром от 3,5 до 6 мм ±0,05 мм

Стальная пружинная термически обработанная проволока ответственного назначения (по ГОСТ 1071-41). Проволока изготавливается следующих диаметров: 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2; 2,3; 2,5; 2,75; 3; 3,2; 3,4; 3,6; 3,75; 4; 4,5; 5; 5,5 мм.

Допускаемые отклонения по диаметру

| Номинальный диаметр проволоки в мм | Допускаемое отклонение в мм |
|------------------------------------|-----------------------------|
| 1,2 | +0,03; -0,02 |
| 1,4—1,8 | +0,04; -0,02 |
| 2—2,75 | +0,05; -0,02 |
| 3 | +0,05; -0,03 |
| 3,2—4,5 | +0,07; -0,03 |
| 5—5,5 | +0,08; -0,03 |

Проволока стальная легированная пружинная специального назначения (по ГОСТ 1769-53). Проволока изготавливается следующих диаметров: 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 6,5; 7; 7,5; 8; 8,5; 9; 9,5; 10; 10,5; 11; 11,5; 12 мм.

Допускаемые отклонения по диаметру

| Номинальный диаметр проволоки в мм | Допускаемое отклонение в мм (-) |
|------------------------------------|---------------------------------|
| 3—6 | 0,08 |
| 6,5—10 | 0,10 |
| 10,5—12 | 0,12 |

Стальная хромованадиевая проволока для пружин (по ГОСТ 3704-47). Проволока изготавливается следующих диаметров: 0,5; 0,8; 1; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2; 2,2; 2,5; 2,8; 3; 3,2; 3,5; 3,8; 4; 4,2; 4,5; 4,8; 5; 5,5; 6; 6,5; 7; 7,5; 8; 8,5; 9; 9,5; 10; 11; 12; 13; 14 мм.

Допускаемые отклонения по диаметру

| Номинальный диаметр проволоки в мм | Допускаемое отклонение в мм |
|------------------------------------|-----------------------------|
| 0,5—2 | +0,03; -0,01 |
| 2,2—3 | +0,04; -0,02 |
| 3,2—6 | +0,05; -0,03 |
| 6,5—10 | +0,06; -0,04 |
| 11—14 | +0,03; -0,04 |

Трубы паровозные изготавливаются следующих размеров в мм:

| Трубы пароперегревательные | | | | |
|----------------------------|----|----|-----|-------|
| D_n | 24 | 29 | 35 | 38 42 |
| s | 3 | 3 | 3,5 | 3,5 4 |

| Трубы дымогарные | | | Трубы кипяtilьные | | |
|------------------|------|-------|-------------------|----|----|
| D_n | 44,5 | 51 57 | D_n | 76 | 89 |
| s | 2,5 | 2,5 3 | s | 5 | 5 |

| Трубы жаровые | | | | |
|---------------|-----|-----|-----|---------|
| D_n | 89 | 127 | 133 | 140 152 |
| s | 3,5 | 4 | 4 | 4,5 4,5 |

Допускаются отклонения по наружному диаметру при диаметре труб до 51 мм $+0,4$ мм, более 51 мм: холоднотянутых $+0,8\%$ и -1% ; горячекатанных $\pm 1\%$; по толщине стенки для труб тнугных $+12,5\%$ и -10% , катаных $\pm 12,5\%$ и по требованию потребителя $+17,5\%$ и -10% .

Трубы для котлов всех назначений, кроме паровозных, изготавливаются из спокойной стали марок 10 и 20 (по ГОСТ 301-50); трубы паровозные изготавливаются из спокойной стали марки 10, кипяtilьные — из легированной стали по особым техническим условиям.

Трубы бесшовные из нержавеющей стали (ГОСТ 5543-50)

Размеры см. в табл. 76.

Таблица 76

Трубы бесшовные из нержавеющей стали

| Холоднотянутые и холоднокатаные | | Горячекатаные | |
|---------------------------------|----------|---------------|----------|
| D_n в мм | s в мм | D_n в мм | s в мм |
| 6-7 | 1-1,5 | 76 | 4,5-8 |
| 8-13 | 1-2 | 83 | 4,5-9 |
| 14-19 | 1-2,5 | 89 | 4,5-10 |
| 20 | 1-3 | 96 | 5-11 |
| 21-29 | 1-4 | 102 | 5-12 |
| 30-37 | 1-5 | 108 | 5-13 |
| | | 114 | 5,5-15 |
| 38-56 | 1,5-5 | 121 | 5,5-16 |
| 57; 58; 60; | 1,5-7 | 127 | 5,5-18 |
| 63; 65; 68; | | 133 | 6-20 |
| 70; 73; 76 | | 140 | 6-22 |
| 83 и 89 | | 146 | 6-23 |
| | | 152 | 6-24 |
| | | 159 | 6-25 |
| | | 168 | 7-27 |
| | | 180 | 8-28 |
| | | 194 | 10-30 |
| | | 219 | 12-30 |

Примечания: 1. По наружному диаметру трубы до 56 мм изготавливаются с интервалом через 1 мм.

2. По толщине стенки трубы изготавливаются при толщине до 5 мм с интервалом 0,25 мм, св. 5 до 10 мм с интервалом 0,5 мм, св. 10 мм с интервалом 1,0 мм.

По длине трубы поставляются немерной длины 1,5-7 м и мерной в этих пределах с допускаемым отклонением по длине $+15$ мм.

Допускается поставка немерных труб длиной от 0,5 до 1,5 м в количестве не более 20%.

Допускаемые отклонения от размеров указаны в табл. 77.

Таблица 77
Допускаемые отклонения

| Вид и размеры труб в мм | Точность | | |
|---------------------------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| | обычная | повышенная | высокая |
| По диаметру | | | |
| Холоднотянутые при D_n: | | | |
| до 10 | $\pm 0,3$ мм | $\pm 0,2$ мм | $\pm 0,15$ мм |
| св. 10 до 30 | $\pm 0,5$ " | $\pm 0,3$ " | $\pm 0,2$ " |
| св. 30 | $\pm 1,5\%$ | $\pm 1\%$ | $\pm 0,8\%$ |
| Горячекатаные при D_n: | | | |
| до 114 | $\pm 2\%$ | $\pm 1,5\%$ | $\pm 1,25\%$ |
| св. 114 | $+2\%$ $-1,5\%$ | $\pm 1,25\%$ | $\pm 1\%$ |
| По толщине стенки | | | |
| Холоднотянутые: | | | |
| при $s < 3$ | $\pm 15\%$ | $+15\%$ -10% | $+12,5\%$ -10% |
| " $s > 3$ | $+15\%$ -10% | $+12\%$ -10% | $\pm 10\%$ |
| Горячекатаные: | | | |
| при $s < 10$ | $+20\%$ -15% | $\pm 15\%$ | $\pm 12,5\%$ |
| " $s > 10$ | $\pm 15\%$ | $\pm 12\%$ | $\pm 10\%$ |

Трубы стальные сварные для карданных валов автомобилей (по ГОСТ 5005-49)

Размеры — см. табл. 78 и 79

Трубы волоченые
Таблица 78

| Внутренний диаметр $D_{вн}$ в мм | Толщина стенки в мм | | | |
|----------------------------------|---------------------|----------------|--------------|----------------|
| | $2 \pm 0,12$ | $2,5 \pm 0,12$ | $3 \pm 0,12$ | $3,5 \pm 0,16$ |
| | Наружный диаметр | | | |
| $45 \pm 0,11$ | 49 | 50 | 51 | — |
| $55 \pm 0,11$ | 59 | 60 | 61 | 62 |
| $71 \pm 0,11$ | 75 | 76 | 77 | — |
| $84 \pm 0,15$ | — | — | 90 | 91 |

Трубы неволоченые

| Внутренний диаметр $D_{вн}$ в мм | Толщина стенки в мм | | Внутренний диаметр $D_{вн}$ в мм | Толщина стенки в мм | |
|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|
| | $2,5^{+0,06}_{-0,12}$ | $3^{+0,06}_{-0,12}$ | | $2,5^{+0,06}_{-0,12}$ | $3^{+0,06}_{-0,12}$ |
| | Наружный диаметр в мм | | | Наружный диаметр в мм | |
| $45 \pm 0,3$ $71 \pm 0,3$ | — 76 | 51 — | $84 \pm 0,3$ $108 \pm 0,3$ | 89 — | — 114 |

Трубы поставляются мерной длины от 0,5 до 2 м с отклонениями ± 2 мм или кратной мерной с припуском на каждый разрез по 5 мм с отклонениями на всю длину ± 10 мм.

Трубы подшипниковые из стали ШХ15 (по ГОСТ 800-55) для колец шарико- и роликоподшипников поставляются в отожженном состоянии с обточенной поверхностью и обрезанными под прямым углом концами, с фаской шириной от 2 до 4 мм.

Трубы поставляются длиной 1,5 м, горячекатаные диаметром 60—181 мм, холоднокатаные диаметром 32—90 мм.

Допускаемые отклонения по наружному диа-

метру $\pm 0,2$ мм для горячекатаных и $\pm 0,5$ мм для холоднокатаных труб, по толщине стенки $\pm 15\%$.

Трубы насосно-компрессорные см. ГОСТ 633-50.

Трубы стальные бесшовные см. ГОСТ 301-50.

Трубы стальные паропроводные см. ГОСТ 3100-46.

Трубы стальные водо-газопроводные (газовые) см. ГОСТ 3262-55.

Трубы стальные нефте-водо-газопроводные см. ГОСТ 3101-46.

Трубы стальные электросварные см. ГОСТ 1753-53.

Трубы стальные хлебопекарные см. ГОСТ 3102-46.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Ассонов А. Д., Термическая обработка деталей автомобиля, Машгиз, 1948.

2. Бейн Э., Влияние легирующих элементов на свойства стали, Металлургия, 1946.

3. Вязников Н. Ф., Легирующая сталь и ее термическая обработка, Металлургия, 1951.

4. Геллер Ю. А., Инструментальные стали, Металлургия, 1955.

5. Гуляев А. П., Лахтин Ю. М. и Тарусин А. И., Термическая обработка стали, Машгиз, 1946.

6. Гуляев А. П., Металловедение, Оборонгиз, 1951.

7. Делле В. А., Основы легирования стали, Металлургия, 1953.

8. Займовский А. С. и Усов В. В., Металлы и сплавы в электротехнике, Госэнергоиздат, 1948.

9. Кидин И. Н., Термическая обработка при индукционном нагреве, Металлургия, 1950.

10. Конторович И. Е., Термическая обработка стали и чугуна, Металлургия, 1951.

11. Лившиц Б. Г., Физические свойства сплавов, Металлургия, 1946.

12. Минкевич Н. А., Свойства, тепловая обработка и назначение стали и чугуна, Госмашметиздат, 1931—1934. Курс термической обработки стали и чугуна, ОНТИ, 1935.

13. Минкевич А. Н., Химико-термическая обработка, Машгиз, 1950.

14. Морозова Е. М. и Спивак Э. Д., Материалы для станкостроения, Машгиз, 1947.

15. Погодин-Алексеев Г. И., Геллер Ю. А. и Рахштадт А. Г., Металловедение, Оборонгиз, 1950.

16. Садовский В. Д., Атлас диаграмм изотермического превращения аустенита, Металлургия, 1951.

17. Химушин Ф. Ф., Нержавеющие стали, Металлургия, 1945.

18. Хрущов А. М., Гольд Б. В. и Маурахов А. А., Материалы деталей автомобилей и тракторов, изд. 4-е, Машгиз, 1948.

19. Шмыков А. А., Справочник термиста, Машгиз, 1952.

20. Штейнберг С. С., Основы термической обработки, Металлургия, 1952.

21. Автомобильные стали (справочник ВНИТОМАШ), Машгиз, 1948.

22. Энциклопедический справочник „Машиностроение“, т. 6, Машгиз, 1947.

23. Справочник „Конструкционные стали“, т. 1, Металлургия, 1946.

24. Стали в машиностроении, ВНИТОМАШ, Машгиз, 1946.

25. Энциклопедический справочник „Машиностроение“, т. 3, Машгиз, 1948.

26. Metals Handbook ASM, 1949.

27. Современные методы термической обработки стали, сб., Машгиз, 1954.

28. Труды конференции по применению новых материалов и заменителей, вып. VIII, Госэнергоиздат, 1945.

ГЛАВА V

ЧУГУН

ОБЩИЕ СВОЙСТВА ЧУГУНА

Свойства чугуна определяются структурой основной металлической массы, формой, количеством и расположением графитных включений. В равновесном состоянии структура железоуглеродистых сплавов определяется диаграммой состояния (фиг. 1, гл. IV). При прибавлении разных элементов меняется [2]: эвтектическая температура

$$T = 1135 + 5 \text{ Si} - 35 \text{ P} - 2 \text{ Mn} + 4 \text{ Cr};$$

концентрация углерода в эвтектике
 $C = 4,3 - 0,3 (\text{Si} + \text{P}) - 0,04 \text{ Ni} - 0,07 \text{ Cr};$

эвтектоидная температура

$$T = 723 + 20 \text{ Si} + 8 \text{ Cr} - 30 \text{ Ni} - 10 \text{ Cu} - 20 \text{ Mn};$$

концентрация углерода в эвтектоиде
 $C = 0,8 - 0,15 \text{ Si} - 0,08 \text{ Ni} - 0,05 (\text{Cr} + \text{Mn}).$

Положение перечисленных точек определено при нагреве; при охлаждении точки располагаются ниже.

С достаточной точностью для нелегированного чугуна большинства марок применимы упрощенные формулы:

концентрация углерода в эвтектике

$$C = 4,3 - 0,3 (\text{Si} + \text{P});$$

концентрация углерода в эвтектоиде

$$C = 0,8 - 0,15 \text{ Si}.$$

Влияние элементов на структуру приведено в табл. 1. Коэффициенты, характеризующие относительное графитизирующее действие, могут быть использованы только при средних содержаниях углерода (около 3%) и кремния (около 2%).

Физические и механические свойства

Главнейшие физические и механические свойства структурных составляющих нелегированного чугуна приведены в табл. 2, а физические свойства типового чугуна — в табл. 3.

Приведенный в табл. 3 удельный вес может значительно изменяться в зависимости от количества связанного углерода и наличия пор. Удельный вес жидкого чугуна при температуре его плавления равен $7 \pm 0,1$; он понижается при увеличении содержания примесей и повышении температуры.

Приведенный в табл. 3 обратимый коэффициент линейного расширения зависит от структуры чугуна и увеличивается с повышением температуры.

Необратимое увеличение объема (рост) резко сказывается при переходе через температуру фазовых превращений и доходит до 30%, но обычно не превосходит 3% при нагреве до 500 °С. Увеличению роста благоприятствуют графитообразующие элементы и препятствуют карбидообразующие элементы, а также укорочение длины графитных включений и нанесение на поверхность чугуна покрытий, не пропускающих окислы (гальванических, методом металлизации, эмалирования).

Тепловые свойства

Теплоемкость чугуна заданной структуры можно определить по правилу смешения, пользуясь данными табл. 2. Теплоемкость чугуна при температурах, превышающих t -фазовых превращений и до температуры плавления, может быть принята равной $0,18 \text{ кал/Г}^\circ\text{С}$, а превышающих температуру плавления — равной $0,23 \pm 0,03 \text{ кал/Г}^\circ\text{С}$. Тепловой эффект при затвердевании равен $55 \pm 5 \text{ кал/Г}$, а при перлитном превращении зависит от содержания перлита и доходит до $21,5 \pm 1,5 \text{ кал/Г}$ при содержании 0,8% $C_{\text{св}}$. Объемная теплоемкость c_v , равная произведению весовой теплоемкости на удельный вес ($c_v = c_\gamma \gamma \text{ кал/см}^3 \text{ }^\circ\text{С}$), может быть принята для укрупненных расчетов равной для твердого чугуна

Ориентировочное влияние элементов на структуру чугуна

Таблица 1

| Элементы | Содержание в % | Влияние | | Относительное графитизирующее действие | | |
|----------------|----------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------|--------------------|
| | | на основную металлическую массу | на графит | при кристаллизации | | Суммарное |
| | | | | эвтектоидской | эвтектоидной | |
| Кремний | До 3 | Уменьшение содержания перлита | Увеличение количества и укрупнение | +1 | +1,0 | +1 |
| Углерод | Более 1,7 | То же | То же | +0,6 | +2,0 | От 0,5 до 2* |
| Марганец | " 0,8 " 1 | Размельчение перлита Образование сернистого марганца | Слабое размельчение То же, но уменьшение количества | +0,2 -0,4 | ? ? | -0,1 - |
| Фосфор | До 1 | Образование фосфидов | Не влияет | +0,2 | ? | +0,2 |
| Сера | " 0,2 | Образование сульфидов | Уменьшение количества | -0,1 | -0,25 | -0,1 |
| Никель | " 1,5 | Размельчение перлита | Увеличение количества и слабое размельчение | +0,5 | ? | От +0,2 до +0,5** |
| Хром | " 1 | То же | Уменьшение количества и слабое размельчение | -1,2 | -0,3 | От -0,6 до -1,5*** |
| Медь | " 1 | Не влияет | Не установлено | +0,3 | ? | 0 |
| Молибден | " 0,5 | Размельчение перлита. Образование игольчатой структуры | Уменьшение количества. Значительное размельчение | -0,5 | -1,4 | -0,7 |
| Ванадий | " 0,5 | Размельчение перлита | То же | -1,5 | ? | -2 |
| Алюминий | " 0,3 | Уменьшение содержания перлита | Увеличение количества и укрупнение | +3 | 0 | +10 |
| Церий и магний | - | - | Сфероидизация | - | - | - |

Примечание. Знак ? обозначает отсутствие проверенных данных.

* 0,5 — для заэвтектоидного, 1 — для эвтектоидного и 2 — для доэвтектоидного чугуна.

** 0,5 — для заэвтектоидного, 0,25 — для эвтектоидного и 0,2 — для доэвтектоидного чугуна.

*** 1,5 — для заэвтектоидного, 0,75 — для эвтектоидного и 0,6 — для доэвтектоидного чугуна.

Физические и механические свойства структурных составляющих нелегированного чугуна

Таблица 2

| Структурная составляющая | Удельный вес | Коэффициент теплового линейного расширения $\alpha_{20-100}^{\circ}\text{C}^{-1}$ | Теплоемкость в кал/г $^{\circ}\text{C}$ при температуре в $^{\circ}\text{C}$ | | | | | Теплопроводность в кал/см \cdot сек $^{\circ}\text{C}$ | Электропроводность в $\text{МКОМ}\cdot\text{СМ}$ | Предел прочности при растяжении $\sigma_{\text{вр}}$ в кг/мм 2 | Удлинение δ % | Твердость НВ в кг/мм 2 |
|--------------------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------|
| | | | 100 | 200 | 400 | 600 | 900 | | | | | |
| Аустенит | - | 17—24 | 0,12 | - | - | - | - | 0,1 | - | - | 50±10 | - |
| Феррит | 7,9 | 12—12,5 | 0,11 | 0,12 | 0,13 | 0,14 | 0,17 | 0,18 | 10 | 40±10 | 40±10 | 85±35 |
| Перлит | 7,8 | 10—11 | - | - | - | - | - | 0,12 | 20 | 100±30 | 15±5 | 200±50 |
| Цементит | 7,7 | 6—8,5 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,16 | 0,17 | 0,017 | 140 | 4±1 | 0 | 600±100 |
| Графит | 2,2—2,3 | 7,5—8 | 0,2 | 0,22 | 0,27 | 0,31 | 0,36 | 0,035 | 150 | 0 | 0 | 3±2 |

Физические свойства типового чугуна

Таблица 3

| Тип чугуна | Удельный вес | Коэффициент теплового линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ при температурах в $^{\circ}\text{C}$ | | Действительная усадка в % | Теплопроводность в $\text{кал}/\text{см}\cdot\text{сек}\cdot^{\circ}\text{C}$ | Динамическая вязкость при температуре литья в $\text{дин}\cdot\text{сек}/\text{см}^2$ | Поверхностное натяжение в $\text{дин}/\text{см}$ | Электропроводность в $\text{МКОМ}\cdot\text{см}$ | Твердость H_B в $\text{кг}/\text{мм}^2$ | Коэффициент силы в э | Остаточный магнетизм в гс |
|------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| | | 20—100 | 700 | | | | | | | | |
| Белый | 7,4—7,7 | 10±1 | 14 | 2 | 0,08±0,04 | 0,03 | 900±100 | 65±35 | 300—1000 | 13±2 | 5000±1000 |
| Серый | 6,6—7,4 | 11±1 | 14 | 1 | 0,14±0,02 | 0,04 | 900±100 | 100±50 | 130—300 | 10±1 | 5000±1000 |
| Ферритный ковкий | 7,2—7,4 | 11±1 | — | 1 | 0,16±0,01 | — | — | — | 100—220 | 1,5±0,5 | 5000±1000 |
| Аустенитный | — | 17±1 | — | — | 0,08—0,01 | — | 900±100 | 150±50 | — | — | — |

около 1 $\text{кал}/\text{см}^3\cdot^{\circ}\text{C}$, а для жидкого — около 1,5 $\text{кал}/\text{см}^3\cdot^{\circ}\text{C}$.

Теплопроводность не может быть определена по правилу смешения. Приведенная в табл. 2 теплопроводность структурных составляющих по мере увеличения степени их дисперсности уменьшается. Ориентировочная теплопроводность типового чугуна приведена в табл. 3. Влияние элементов на теплопроводность сказывается главным образом через изменение степени графитизации. Теплопроводность в α -железе уменьшается при увеличении растворенных в нем примесей. С увеличением температуры на 100 $^{\circ}\text{C}$ теплопроводность уменьшается на 0,002—0,010 $\text{кал}/\text{см}\cdot\text{сек}\cdot^{\circ}\text{C}$. Теплопроводность жидкого чугуна равна ~ 0,04 $\text{кал}/\text{см}\cdot\text{сек}\cdot^{\circ}\text{C}$.

Температуропроводность может быть принята при укрупненных расчетах для твердого чугуна численно равной его теплопроводности, а для жидкого чугуна равной 0,03 $\text{см}^2/\text{сек}$.

Гидродинамические свойства

Динамическая вязкость может быть оценена по данным, приведенным в табл. 4. Вязкость уменьшается при увеличении содержания марганца, а также при уменьшении содержания серы и неметаллических включений. Вязкость уменьшается приблизительно пропорционально отношению абсолютной температуры опыта к абсолютной температуре начала затвердевания. При переходе температуры начала затвердевания вязкость резко увеличивается.

Таблица 4
Коэффициенты вязкости чугуна

| Температура в $^{\circ}\text{C}$ | Коэффициент вязкости в $\text{дин}\cdot\text{сек}/\text{см}^2$ чугуна с содержанием углерода в % | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 |
| <i>Чугун застывает белым</i> | | | | | | | |
| 1250 | — | — | — | — | — | 0,029 | 0,021 |
| 1300 | — | — | — | — | 0,028 | 0,024 | 0,018 |
| 1350 | — | — | 0,029 | 0,026 | 0,024 | 0,02 | 0,016 |
| 1400 | 0,026 | 0,025 | 0,024 | 0,023 | 0,02 | 0,02 | 0,016 |
| <i>Чугун застывает серым</i> | | | | | | | |
| 1280 | — | 0,043 | 0,041 | 0,04 | 0,039 | 0,037 | 0,035 |
| 1300 | 0,043 | 0,042 | 0,041 | 0,04 | 0,038 | 0,037 | 0,035 |
| 1350 | 0,04 | 0,04 | 0,039 | 0,038 | 0,037 | 0,036 | 0,035 |
| 1400 | 0,038 | 0,038 | 0,037 | 0,036 | 0,035 | 0,034 | 0,033 |

Поверхностное натяжение может быть для укрупненных расчетов принято по табл. 3. Оно увеличивается с повышением температуры и с понижением содержания углерода и резко изменяется при наличии неметаллических включений.

Электрические свойства [20]. При оценке электропроводности и электросопротивления может быть использован закон Н. С. Курнакова. Электросопротивление структурных составляющих уменьшается по мере увеличения степени их дисперсности. Ориентировочные значения электросопротивления структурных составляющих приведены в табл. 2, типового чугуна — в табл. 3. По ослабевающему действию на изменение электросопротивления твердого раствора элементы могут быть расположены в ряд: кремний, марганец, хром, никель, кобальт.

Магнитные свойства [20]

Магнитные свойства чугуна определяются главным образом его структурой. Для феррита максимальная магнитная индукция $B_{\max} = 21\,000 \div 32\,000$ гс, остаточный магнетизм $13\,000$ гс, коэрцитивная сила $H_C = 0,9 \div 1,0$ э; для цементита $B_{\max} = 12\,400$ гс, $H_C = 55$ э. Углерод увеличивает коэрцитивную силу менее значительно, когда он находится в виде графита, чем когда он находится в виде цементита. При одинаковом содержании цементита коэрцитивная сила увеличивается по мере увеличения степени его дисперсности. Зернистый цементит оказывает наименьшее влияние. Присадка элементов не изменяет коэрцитивную силу, если элемент остается в твердом растворе. При переходе границы растворимости коэрцитивная сила возрастает.

Намагниченность насыщения в гс в системе феррит — графит в зависимости от весового содержания графита (а%) выражается формулой

$$4\pi J_{\infty} = \frac{22\,580(100 - a)}{100 \pm 2,451a},$$

а в зависимости от весового содержания углерода в форме цементита (b%) — формулой

$$4\pi J_{\infty} = 22\,580 - 1394b.$$

B_{\max} системы феррит — графит больше, чем B_{\max} системы феррит — цементит.

Ориентировочные значения коэрцитивной силы и остаточного магнетизма для типового чугуна приведены в табл. 3.

Механические свойства

Статические свойства. Предел прочности при растяжении чугуна может быть качественно оценен по

его структуре в соответствии с данными, приведенными в табл. 2. Прочность структурных составляющих увеличивается по мере увеличения степени их дисперсности.

Форма, количество, величина и распределение графитных включений оказывают на предел прочности большее влияние, чем структура основной металлической массы. Наиболее заметное резкое снижение прочности наблюдается при расположении графитных включений в виде цепочки, прерывающей сплошность металлической массы. Наибольшая прочность достигается при сфероидальной форме графита. Она достигается в чугуне при прибавлении в определенных условиях магния и церия.

В табл. 5 приведены соотношения прочностных показателей чугуна. С повышением температуры испытания до 400°C предел прочности остается практически постоянным (в интервале $100\text{--}200^{\circ}\text{C}$ имеет место снижение прочности, не превышающее $10\text{--}15\%$). При нагреве выше 400°C наблюдается падение предела прочности, приблизительно пропорциональное повышению температуры.

Пластические деформации обнаруживаются в чугуне уже при малых нагрузках благодаря действию графитных включений, вызывающих местные концентрации напряжений. Пластические свойства зависят от структуры основной металлической массы в соответствии с данными, приведенными в табл. 2, но еще в значительно большей степени — от формы графитных включений. При шарообразной форме последних удлинение после проведения отжига может достичь 30% . В обычном сером чугуне оно редко превышает десятые доли процента; в отожженном сером чугуне (ферритная структура) удлинение достигает $1,5\%$.

Таблица 5

Соотношения прочностных показателей чугуна

| $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | $\sigma_{всж} : \sigma_{вр}$ | $\sigma_{ви} : \sigma_{вр}$ | $\tau_{вср} : \sigma_{вр}$ | $\tau_{в} : \sigma_{вр}$ | $E_{25\sigma_{вр}} : \sigma_{вр}$ | $\sigma_{-1} : \sigma_{вр}$ | $\sigma_{-1р} : \sigma_{вр}$ | $\sigma_{-1к} : \sigma_{в}$ |
|---------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 10—15 | 3,6—4,5 | 2—2,5 | 1,5—1,8 | 1,8—2 | 500—900 | 0,45±0,05 | 0,25±0,05 | 0,4±0,1 |
| 15—20 | 3,6—4,5 | 1,8—2,3 | 1,3—1,8 | 1,2—1,7 | 450—700 | 0,45±0,05 | 0,25±0,05 | 0,4±0,1 |
| 20—25 | 3,4—4,2 | 1,6—2,1 | 1,2—1,5 | 1,2—1,6 | 400—500 | 0,45±0,05 | 0,25±0,05 | 0,4±0,1 |
| 25—30 | 3,2—3,8 | 1,4—1,9 | 1,2—1,5 | 1,2—1,6 | 350—500 | 0,45±0,05 | 0,45±0,05 | 0,4±0,1 |
| 30—35 | 3—3,4 | 1,2—1,7 | 1,1—1,4 | 1,2—1,5 | 350—400 | 0,45±0,05 | 0,45±0,05 | 0,4±0,1 |
| 35—40 | 2,4—3,2 | — | 1—1,2 | 1,2—1,5 | 300—450 | 0,45±0,05 | 0,45±0,05 | 0,4±0,1 |

Упругие деформации еще в большей степени зависят от формы графита. Они не изменяются при тепловой обработке чугуна, если при этом не изменилась форма графитных включений. При испытаниях на изгиб упругие деформации составляют 50—85% всех деформаций.

Ползучесть чугуна следует отличать от явлений роста. В нелегированном чугуне при нагреве до температур выше 550° С остающиеся деформации, связанные с явлениями роста, превышают деформации, допустимые при оценке ползучести. При допущении скорости ползучести 1·10⁻⁵% в час и при испытании в течение 1000 час. нагрузка около 3 кг/мм² выдерживается нелегированным серым чугуном при температуре около 400° С, а легированным чугуном при температуре до 500° С. Увеличение ползучести достигается у чугуна с аустенитной структурой и у чугуна с присадкой молибдена или с увеличенным содержанием никеля и хрома. Пользучесть увеличивается при увеличении предела прочности и после проведения отжига при температурах, превышающих температуру эксплуатации.

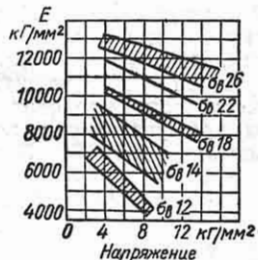
Модуль упругости чугуна из-за наличия графитных включений имеет только относительное значение, поэтому правильное считать его условной или относительной величиной. Модуль упругости чугуна не зависит от структуры основной металлической массы и зависит от графитных включений: он падает с увеличением количества графитных включений и с отдалением их формы от глобулярной.

Относительный (или условный) модуль упругости может быть определен при разрушающей нагрузке σ_B (E_{σ_B}), заданном напряжении σ_1 (E_{σ_1}) и при напряжении, выраженном в а% от разрушающей нагрузки σ_B ($E_{a\sigma_B}$); E_{σ_B} всегда меньше, чем $E_{a\sigma_B}$. Если принять E_{σ_B} за единицу, то $E_{50\sigma_B}$ составит в среднем $(1,5 \pm 0,2) E_{\sigma_B}$. Если E определяется при заданном напряжении σ_1 , то E_{σ_1} тем больше превышает E_{σ_B} , чем меньше σ_B , как это установлено опытными данными (фиг. 1). Модуль упругости также зависит от количества нагруженной до начала проведения определения.

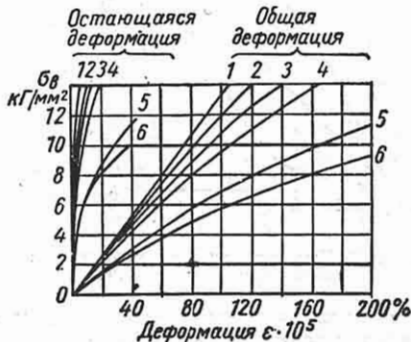
В табл. 5 приведено отношение $E_{25\sigma_{вР}}$ к пределу прочности при растяжении.

Если принять условный модуль упругости при изгибе за 1,0, то E при разрыве и сжатии составит около $0,8 \pm 0,2$, а при кручении $0,45 \pm 0,05$.

У чугуна с пониженным модулем упругости наблюдаются повышенные остающиеся и общие деформации при меньших нагрузках (фиг. 2).



Фиг. 1. Влияние напряжений на модуль упругости.



Фиг. 2. Деформация чугуна с разным модулем упругости E : 1—13 800; 2—12 500; 3—11 600; 4—11 450; 5—8950; 6—7590 кг/мм².

Динамические свойства. Ударная вязкость недостаточно верно отражает динамические свойства чугуна. Ударная вязкость увеличивается при увеличении содержания феррита и при уменьшении содержания графита, а также при приближении формы графитных включений к шаровидной.

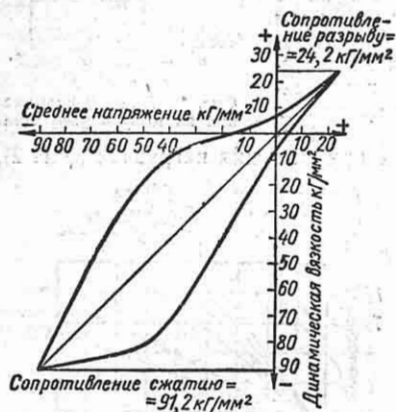
Для ориентировочных расчетов могут быть приняты следующие значения a_H надрезанных образцов сечением 1,0 см²:

| Тип чугуна | a_H в кг·м/см ² |
|---------------------------------------------------|---------------------------------|
| Серый | 0,1—0,2 |
| " высококачественный | 0,3—0,4 |
| Ковкий перлитно-ферритный | 0,5—0,8 |
| " ферритный | 0,8—1,6 |
| " ферритный, улучшенный термообработкой | 1,6—2,2 |

Уменьшение ударной вязкости на надрезанных образцах сказывается в от-

носителю большой степени и наблюдается при испытании более прочных чугунов.

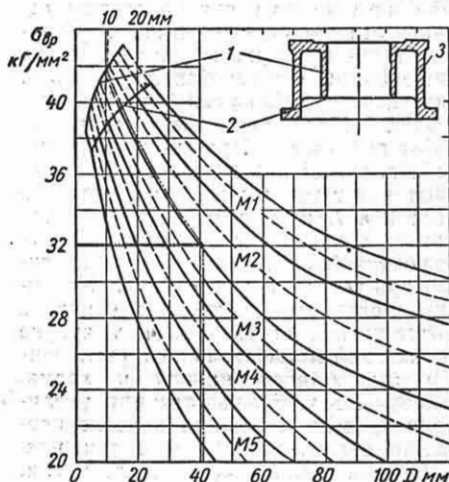
Пределы выносливости, определенные при симметричном цикле и выраженные в долях от предела прочности, приведены в табл. 5. При асимметричном цикле нагружений предел выносливости проходит через максимум при увеличении сжимающих напряжений (фиг. 3). Предел выносли-



Фиг. 3. Изменение предела выносливости при несимметричном цикле.

вости увеличивается при увеличении предела прочности и частоты нагружений.

Циклическая вязкость уменьшается при увеличении прочности чугуна и при приближении формы графитных включений к шару, при увеличении количества колебаний, при уменьшении нагрузки, при крутящих напряжениях вместо сжимающих — растягивающих. Частота колебаний до 50 гц



Фиг. 4. Механические свойства чугуна в зависимости от толщины стенок отливки и технологии его получения [8]: D — диаметр цилиндрической отливки (заготовки); 1 — средняя часть стенки; 2 — торцевая часть стенки; 3 — преобладающая или контрольная толщина стенки (по требуемой прочности этой стенки конструктор назначает марку чугуна).

Технология получения чугуна [9]

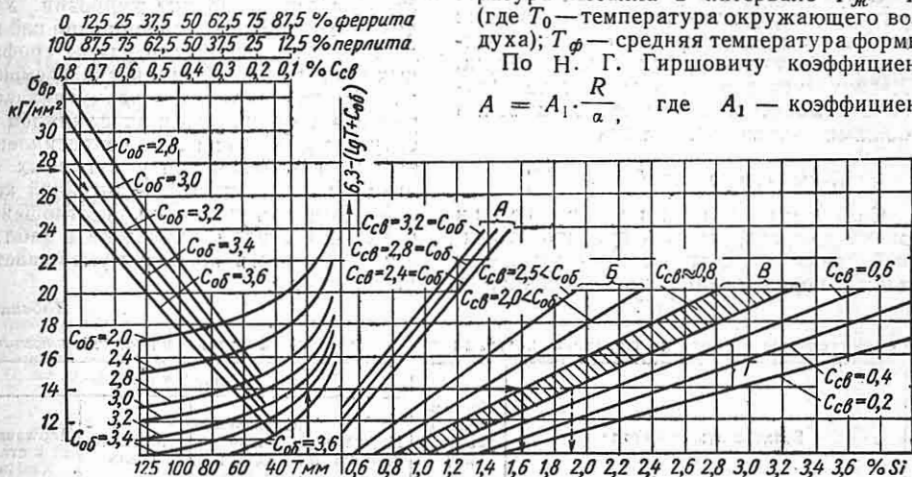
Таблица 6

| Индекс технологического процесса (фиг. 4) | Химический состав в % | | | | | | Присадка стального скрапа в шихту в % | | Величина присадки 75% ного FeSi в % от веса жидкого металла | Температура чугуна при выпуске из вагранки в °С не менее | Температура чугуна при заливке в °С |
|-------------------------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|---------|------------|------------|------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| | C | Si | | Mn | P не более | S не более | Вагранка с копильником. Высота горна до 100 мм | Вагранка без копильника | | | |
| | | до модифицирования | после модифицирования | | | | | | | | |
| M1 | 2,8—3 | 0,6—0,7 | 1,2—1,5 | 1,4—1,6 | 0,2 | 0,12 | 60—70 | Не выплавляется | 1,3—1,6 | 1440 | 1340—1360 |
| M2 | 2,9—3,1 | 1,9—1 | 1,3—1,5 | 1,2—1,4 | 0,25 | 0,12 | 45—55 | 60—70 | 0,6—0,8 | 1430 | 1330—1350 |
| M3 | 3—3,2 | 1,1—1,2 | 1,4—1,6 | 1,0—1,2 | 0,3 | 0,12 | 35—40 | 45—55 | 0,4—0,7 | 1420 | 1320—1350 |
| M4 | 3,1—3,3 | 1,3—1,4 | 1,5—1,7 | 0,8—1 | 0,3 | 0,12 | 20—25 | 30—35 | 0,3—0,5 | 1410 | 1310—1340 |
| M5 | 3,2—3,4 | 1,4—1,5 | 1,5—1,7 | 0,8—1 | 0,3 | 0,12 | 15 | 20 | 0,1—0,3 | 1400 | 1310—1330 |

Примечание. Модифицирование при технологическом процессе M5 применяется лишь для снижения отбеливаемости при заливке тонкостенного литья.

не оказывает существенного влияния. При укрупненных расчетах можно принять циклическую вязкость равной $20 \pm 5\%$ для чугуна с $\sigma_{вр} = 20 \pm 5 \text{ кг/мм}^2$ при определении ее методом крутящей нагрузки, составляющей 35% от $\sigma_{вр}$. Циклическая вязкость снижается при температурах 250—350° С.

Связь между механическими свойствами, размерами отливки и технологией получения чугуна приведена на фиг. 4 [9].



Фиг. 5. Механические свойства чугуна в зависимости от толщины стенок отливки и от химического состава [9]; А — белый чугун для отжига на ковки; Б — половинчатый чугун (чугун для модификации); В — перлитный чугун; Г — ферритно-перлитный чугун.

Характеристика технологии приведена в табл. 6.

Связь между прочностью, структурой, толщиной стенок и химическим составом приведена на фиг. 5 [9а].

Технологические свойства

Жидкотекучесть зависит от свойств металла и формы. Она может быть определена разными методами. В частности и чаще всего жидкотекучесть [13], определяемая длиной заполненной пробы, увеличивается при уменьшении вязкости, увеличении перегрева (при этом большое влияние на жидкотекучесть оказывает перегрев выше температуры начала затвердевания), уменьшении интервала затвердевания (наибольшая жидкотекучесть наблюдается при эвтектическом составе) и зависит от скрытой теплоты плавления q_1 и теплоемкости c_1 , отнесенных к единице объема.

Количественно часть этих факторов учитывается формулой А. М. Самарина и Ю. А. Нехендзи [2]

$$L = A \cdot \gamma^c \frac{(T_{жс} - T_0) + 0,2q}{T_m - T_{\phi}}$$

где А — коэффициент, зависящий от неучтенных свойств металла и формы; $T_{жс}$ — температура заливаемого металла; T_0 — температура нулевой жидкотекучести; T_m — некоторая средняя температура металла в интервале $T_{жс} - T_0$ (где T_0 — температура окружающего воздуха); T_{ϕ} — средняя температура формы.

По Н. Г. Гиршовичу коэффициент $A = A_1 \cdot \frac{R}{\alpha}$, где A_1 — коэффициент

пропорциональности; R — приведенная толщина отливки или пробы; α — коэффициент теплоотдачи.

При недостаточной изученности влияния разных элементов на жидкотекучесть можно для приближенной оценки ограничиться учетом влияния углерода, кремния и фосфора, приняв, что: 1) при равном перегреве жидкотекучесть увеличивается приблизительно пропорционально сумме $C + 0,3 (Si + P)$ до тех пор, пока эта сумма не превысит 4,3%, при этом под символами C, Si и P понимается процентное содержание соответствующих элементов в сплаве; 2) при равной эвтектичности жидкотекучесть повышается с увеличением перегрева выше температуры начала затвердевания.

Усадка выражается формулой ($V_{(t)}$)

$$\gamma = \frac{L_m - L_0}{L_0} 100,$$

где L_m — размер модели; L_0 — размер отливки.

Направление действия отдельных элементов и величина суммарной действительной усадки могут быть оценены по формуле [2]

$$U = 1,8 + 0,2(C - 2,5 - P) + 0,03 Mn - 0,12(Si + 2C_{2p})$$

Наиболее резко усадка уменьшается при увеличении степени графитизации (залитке в сухие формы и увеличении толщины стенок отливки).

Обработываемость чугуна улучшается при увеличении содержания графита и при увеличении степени дисперсности структурных составляющих. Легирующие элементы влияют на обработываемость в соответствии с этими общими закономерностями.

Химические свойства [20]

Сопротивление коррозии зависит от структуры чугуна и от внешней среды (ее состава, температуры, а также передвижения по отношению к

металлу). По убывающему электродному потенциалу структурные составляющие чугуна могут быть расположены в такой последовательности: графит (наиболее стойкий) — цементит, фосфидная эвтектика — перлит — феррит. Разность потенциалов между ферритом и графитом составляет 0,56 в. Сопротивление коррозии уменьшается по мере увеличения степени дисперсности структурных составляющих. Чрезмерное уменьшение степени дисперсности графита также снижает сопротивление коррозии. Увеличение сопротивления коррозии наблюдается при уменьшении длины графитных включений. Легирующие элементы влияют на сопротивление чугуна коррозии в соответствии с их влиянием на структуру. Повышенное сопротивление коррозии наблюдается у чугунов отливок с сохранившейся литейной коркой. Скорость коррозии по отношению к разным средам приведена в табл. 7, 8 и 9. Скорость коррозии уменьшается во времени.

Таблица 7

Сравнительные данные по скорости коррозии чугуна и стали в растворах солей и щелочей

| Воздействующая среда | Концентрация раствора в % | Потери в весе в г/м ² день | | | |
|---------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|--------------------------|--------------|-------------------------|
| | | Нержавеющий чугун | Обыкновенный серый чугун | Мягкая сталь | Нержавеющая сталь X18H8 |
| Аммоний хлористый | 5 | 1,53 | 23,33 | 11,39 | 0,03 |
| То же при 93° С | | 2,83 | 97,23 | 55,39 | 1,19 |
| Аммоний хлористый | 10 | 3,85 | 21,14 | 10,9 | 0 |
| То же при 93° С | | 2,83 | 104,6 | 49,74 | 1,12 |
| Аммоний хлористый | 20 | 5,27 | 23,28 | 8,33 | 0 |
| То же при 93° С | | 3,16 | 115,2 | 39,57 | 0,76 |
| Аммоний серноокислый | 5 | 3,05 | 13,85 | 4,92 | 0,02 |
| То же | 10 | 2,16 | 15,13 | 4,99 | 0,03 |
| " | 25 | 0,37 | 5,74 | 1,5 | 0,01 |
| Алюминий серноокислый | 5 | 8,17 | 17,35 | 72,23 | 0 |
| Бензин | — | 0 | 0 | 0,04 | 0,4 |
| Медь серноокислая | 0,5 | 21,25 | 55,51 | 32,28 | 0 |
| То же | 10 | 255,7 | 556 | 496,7 | 0 |
| Кальций хлористый | 5 | 2,75 | 4,77 | 3,54 | 0,01 |
| Известь хлорная концентрированная | — | 0,39 | 3,12 | 4,3 | 0 |
| Кальций хлористый и магний хлористый 5%-ный | — | 2,31 | 2,41 | 2,57 | 0,02 |
| Известковая вода | — | 0,11 | 1,52 | 0,99 | 0 |
| Известковое молоко | — | 0 | 0,71 | 0,33 | 0 |
| Магний хлористый | 5 | 3,37 | 5,31 | 3,29 | 0,01 |
| Керосин | — | 0,25 | 0,23 | 0,42 | 0,04 |
| Квасцы калийные | 0,5 | 0,09 | 3,17 | 2,75 | 0,02 |
| То же | 10 | 5,27 | 15,72 | 14,35 | 0,04 |
| Сода кальцинированная | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| То же | 10 | 0 | 0 | 0,02 | 0 |
| Натрий хлористый | 5 | 2,94 | 3,01 | 2,9 | 0,02 |
| То же при 93° С | 5 | 1,43 | 2,27 | 2,57 | 0 |
| Натрий хлористый | 10 | 1,93 | 2,98 | 2,36 | 0,01 |
| То же при 93° С | 5 | 0,99 | 2,04 | 3,25 | 0,25 |
| Натрий хлористый | 20 | 1,76 | 1,74 | 1,69 | 0,01 |
| То же при 93° С | 5 | 0,64 | 0,01 | 1,67 | 0,28 |
| Натрий фосфорнокислый | 5 | 0,03 | 0,2 | 0,09 | 0 |

Таблица 8

Сравнительные данные по скорости коррозии чугуна и стали в кислотах

| Воздействующая среда | Концентрация раствора в % | Потери в весе в Г/м ² день | | | |
|----------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|--------------------------|--------------------|-------------------|
| | | Нержавеющий чугун | Обыкновенный серый чугун | Мягкая сталь | Нержавеющая сталь |
| Уксусная кислота | 5 | 18,35 | 341,5 | 51,76 | 0,02 |
| То же | 10 | 10,72 | 441,5 | 61,34 | 0,01 |
| " | 25 | 11,65 | 394,2 | 74,03 | 0,04 |
| " | 50 | 39,85 | 320,6 | 76,5 | 0,01 |
| " | 75 | 37,73 | 238,8 | 47,64 | 0 |
| Уксусная кислота концентрированная | — | 10,7 | 40,78 | 89,54 | 0 |
| Карболовая кислота | 5 | 4,08 | 4,78 | 3,08 | 0,04 |
| Лимонная кислота | 5 | 46,29 | 296,6 | 199,3 | 0,01 |
| Соляная кислота | 5 | 6,05 | 535,3 | 331,9 | 1,42 |
| То же | 10 | 4,66 | 611,5 | 787,4 | 3,4 |
| " | 25 | 8,07 | 609,1 | 1108 | 8,81 |
| " | 50 | 23,03 | 618,6 | 1482 | 28,34 |
| " | 75 | 61,49 | 610,6 | 1275 | 372,9 |
| Соляная кислота концентрированная | — | 190,9 | 557,3 | 650 | 563,9 |
| Азотная кислота | 5 | 425,7 | 515,8 | 704,9 | 0,05 |
| То же | 10 | 1217 | 1515 | 1303 | 0 |
| " | 25 | 528,8 | 572 | 3306 | 0 |
| " | 50 | 531,6 | 379,8 | Образец разрушился | 0 |
| " | 75 | 451,5 | 347,4 | 20,26 | 0 |
| Азотная кислота концентрированная | (6% SO ₂) | 383,6 | 338,1 | 12,36 | 0 |
| Сернистая кислота | 5 | 131,8 | 557,2 | 511,1 | 0 |
| Серная кислота | 5 | 3,04 | 614,5 | 917 | 0 |
| То же | 10 | 3,26 | 702 | 1474 | 0,6 |
| " | 25 | 0,53 | 675,6 | 1179 | 42 |
| " | 50 | 0,76 | 5,28 | 7,89 | 103,8 |
| " | 75 | 3,05 | 2,33 | 3,12 | 5,52 |
| Серная кислота концентрированная | — | 11,92 | 1,11 | 1,27 | 0,17 |

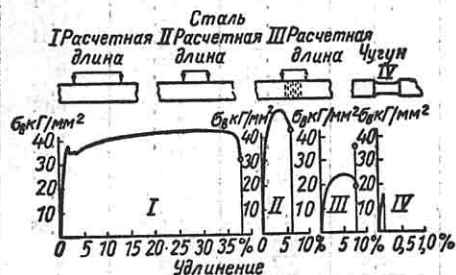
Таблица 9

Сравнительные данные по скорости коррозии чугуна и стали в воде

| Воздействующая среда | Потери в весе в Г/м ² день | | | |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|--------------|-------------------|
| | Нержавеющий чугун | Обыкновенный серый чугун | Мягкая сталь | Нержавеющая сталь |
| Дистиллированная вода | 0,33 | 5,51 | 6,15 | 0 |
| Водопроводная вода | 1,17 | 7,48 | 10,49 | 0 |
| То же, при температуре 93° С | 0,57 | 3,35 | 3,65 | 0,03 |
| Водопроводная вода, насыщенная СО ₂ | 0,88 | 13,67 | 4,18 | 0,04 |
| То же с 0,1% сернистого алюминия | 0,9 | 2,29 | 2,37 | 0 |
| То же с 0,1% медного купороса | 18,04 | 13,05 | 15,93 | 0 |
| Водопроводная вода с 0,07% хлористого кальция | 1,09 | 3,97 | 5,29 | 0 |
| То же с 0,1% калийных квасцов | 0,66 | 2,14 | 2,48 | 0,03 |
| " с 0,1% фосфорнокислого натрия | 0,1 | 0,17 | 0,61 | 0,02 |
| " с 0,7% кальцинированной соды | 0,78 | 3,81 | 3,18 | 0,01 |
| " при температуре 93° С | 0,59 | 1,51 | 2,1 | 0,04 |
| Речная вода | 1,29 | 5,5 | 3,93 | 0,01 |
| То же при температуре 93° С | 0,92 | 3,29 | 3,14 | 0,01 |
| Морская вода | 2,46 | 3,5 | 4,14 | 0 |
| То же при температуре 93° С | 0,12 | 1,79 | 2,15 | 0,02 |

ЧУГУН КАК КОНСТРУКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ

Внутренние надрезы подобно наружным изменяют свойства материала, а графитные включения действуют подобно внутренним надрезам. Свойства пластического материала — стали (фиг. 6, I) изменяются при нанесении на поверхность образца надреза: увеличивается прочность и уменьшается пластичность (фиг. 6, II). При увеличении количества



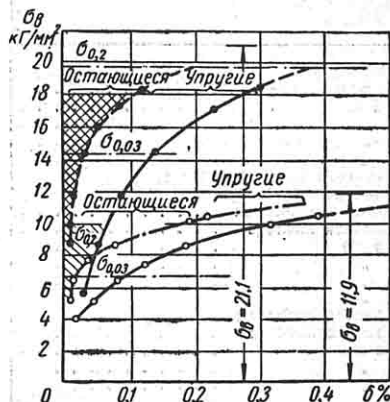
Фиг. 6. Механические свойства чугуна и стали, определенные на образцах с надрезами.

надрезов наблюдается падение прочности не только по отношению к валовому, но и по отношению к рабочему сечению (фиг. 6, III). Диаграмма испытаний стального образца с многочисленными надрезами (фиг. 6, III) подобна диаграмме испытания чугунного образца (фиг. 6, IV).

Наличие в чугуне графитных включений, действующих как внутренние

надрезы, создает в нем многочисленные очаги концентраций напряжений, оказывающих влияние на конструктивные свойства чугуна в нескольких направлениях.

Наличие многочисленных перенапряженных участков в чугуне приводит



Фиг. 7. Пластические и упругие деформации чугуна при растяжении.

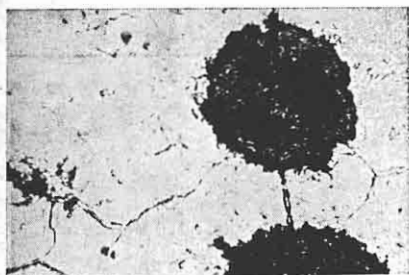
к появлению в нём при начальных нагрузках остающихся пластических деформаций наряду с упругими. Вследствие этого: 1) изменение суммарных деформаций происходит не пропорционально нагрузке (фиг. 7) даже при самых малых напряжениях; 2) при повторных нагрузках, не превышающих

Таблица 10
Влияние надрезов и буртов на предел выносливости стали и чугуна

| Материал | $\sigma_{вр}$ | | Образцы с надрезом глубиной 0,2 мм | | | Образцы с буртом высотой 4,75 мм | | |
|----------------------|--------------------|---------------|------------------------------------|---------------------------------------------|---------------|----------------------------------|-------------------------------------------|---------------|
| | $\sigma_{-1к}$ | σ_{-1} | $(\sigma_{-1})_н$ | $\frac{(\sigma_{-1})_н^*}{(\sigma_{-1})_н}$ | α^{**} | $(\sigma_{-1})_н$ | $\frac{(\sigma_{-1})_н}{(\sigma_{-1})_н}$ | α^{**} |
| | в кг/мм^2 | | | | | | | |
| Сталь углеродистая | 35 | 10,5 | 15 | 1,3 | 0,015 | 13 | 1,5 | 0,025 |
| | 53,9 | 15 | 18 | 1,5 | 0,02 | 15 | 1,8 | 0,03 |
| Сталь хромоникелевая | 73,5 | 22 | 36 | 1,2 | 0,005 | 26 | 1,4 | 0,01 |
| | 108 | 31 | 54 | 30 | 0,015 | 26 | 2,1 | 0,02 |
| | 161,5 | 37,5 | 69 | 32 | 0,02 | 30 | 2,3 | 0,02 |
| Чугун | 11,6 | 6,5 | 7 | 1 | 0 | 7 | 1 | 0 |
| | 24,8 | 13 | 14 | 1 | 0 | 14 | 1 | 0 |

* Индекс n обозначает полированный образец, индекс $н$ — образец с надрезом.

** α — коэффициент запаса прочности.



a)



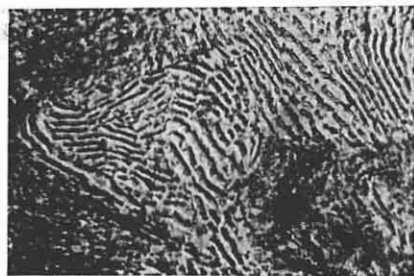
d)



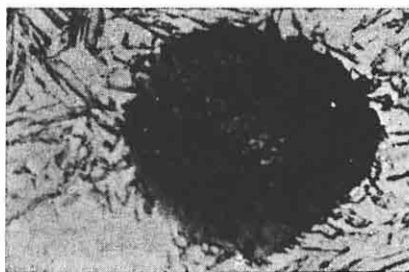
б)



e)



в)

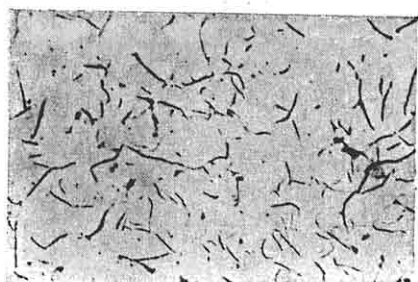


ж)

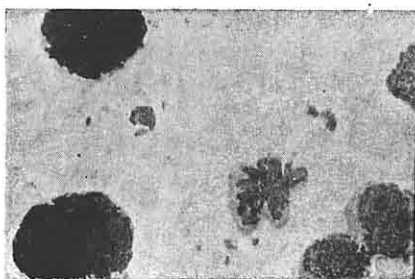


з)

Фиг. А. Типы структур металлической основы чугуна (серого и высокопрочного); а — ферритная (высокопрочный чугун после отжига), $\times 400$; б — перлитно-ферритная, $\times 400$; в и з — перлитная с различной степенью дифференциации перлита, $\times 400$; д — тонкопластинчатый и сорбитообразный перлит (высокопрочный чугун), $\times 400$; е — мартенситная (после закалки в воду), $\times 400$; ж — игольчатый троостит (высокопрочный чугун, легированный), $\times 1000$.



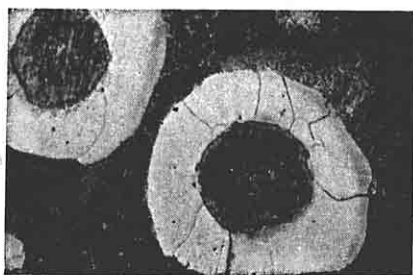
a)



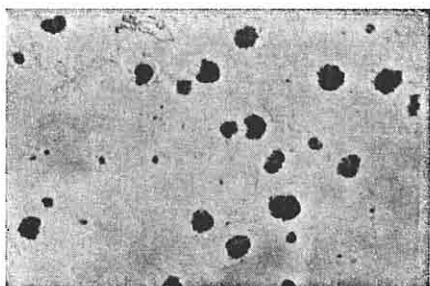
z)



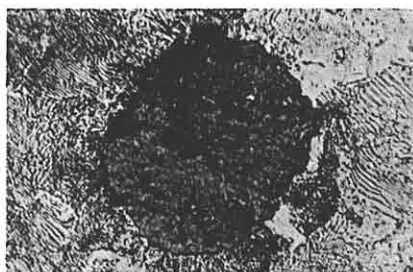
б)



д)



в)



е)

Фиг. Б. Типы графитовых включений в сером и высокопрочном чугунах с шаровидным графитом: а и б — пластинчатый графит, не травлены, $\times 100$; в — z — шаровидный графит (в — отливка с толщиной стенки 5 мм; z — отливка диаметром 300 мм), не травлены, $\times 100$; б — шаровидный графит, окаймленный ферритной оторочкой, травлен, $\times 400$; е — шаровидный графит в перлитной металлической основе, травлен; $\times 400$.

исходную, наблюдаются только упругие деформации, 3) благодаря перенапряжению отдельных многочисленных участков разрыв образца происходит без образования в нем шейки (по этому формальному признаку чугун часто и ошибочно причисляется к хрупким материалам); 4) благодаря значительно меньшим обнаруживаемым остающимся деформациям предел текучести у чугуна отличается от предела прочности на значительно меньшую величину, чем у так называемых пластических материалов (например, у стали).

Наличие внутренних надразов снижает влияние наружных надразов на изменение свойств образца и конструкций. Поэтому: а) при нанесении наружных надразов предел выносливости у чугунных образцов снижается значительно меньше, чем у стальных образцов; б) изменение плавности очертаний, так же как и нанесение наружных надразов, снижает прочность стальных изделий в значительно большей степени, чем чугунных; в) у чугуна с более крупными включениями графита (менее прочных) наблюдается при нанесении внешних надразов меньшее снижение предела выносливости и относительно более заметные деформации при малых нагрузках; г) при приближении формы графитных включений к сфероидальной обнаруживаются в большей степени пластические деформации при статическом приложении нагрузки, увеличивается снижение предела выносливости при нанесении внешних надразов, увеличивается модуль упругости.

С наличием графитных включений связана и повышенная циклическая вязкость чугуна.

Влияние надразов и буртов на предел выносливости стали и чугуна характеризуется данными, приведенными в табл. 10.

Выявленные и выявляемые преимущества чугуна позволяют считать его статически хрупким, но динамически вязким материалом. Хорошие литейные свойства позволяют с наибольшим успехом использовать его при изготовлении деталей со сложным очертанием, которое ухудшение его механических свойств в крупных сечениях приводит к наибольшей эффективности его использования при изготовлении тонкостенных конструкций.

СЕРЫЙ И ВЫСОКОПРОЧНЫЙ ЧУГУН

В настоящем разделе приводятся данные, относящиеся к чугуну с пластинчатым графитом (серый чугун) и к новому типу чугуна, имеющему в литом состоянии включения графита в шаровидной форме (высокопрочный чугун или точнее высокопрочный чугун с шаровидным графитом).

Структура чугуна

В структуре серого чугуна различают металлическую основу и графит. Металлическая основа может включать различные сочетания составляющих: феррита, перлита, сорбита, троостита, мартенсита, цементита или ледебурита, а также фосфидной эвтектики; в высоколегированном специальном чугуне в качестве составляющей металлической основы могут быть также аустенит и специальные карбиды.

Металлическую основу подавляющей части отливок из серого чугуна составляют перлит и различное количество феррита при наличии включений фосфидной эвтектики.

Графит характеризуется количеством, а также формой, величиной и распределением включений.

На фиг. А (см. вклейку) представлены основные типы структур металлической основы конструкционного чугуна серого и высокопрочного. Наиболее высокими механическими свойствами (при высокой износостойкости) обладает чугун, металлическая основа которого (при благоприятном распределении включений графита, см. ниже) имеет так называемую игольчатую структуру (фиг. А, ж). Остальные типы представленных на фиг. А структур располагаются в убывающем порядке по показателям механических свойств следующим образом: *д, г, в, б, а*.

На фиг. Б, *а* и *б* (см. вклейку) представлены типы графита в сером чугуне. При пластинчатой форме включений графита наиболее высокие механические свойства при статических нагрузках присущи чугуну, в котором пластинки графита соответствуют типу *а* фиг. Б.

Тип *б* на той же фигуре отличается большой разобленностью пластинок, что также благоприятствует сохранению повышенных механических свойств, в

особенности для случая циклических нагрузок, несмотря на увеличение размеров включений.

На фиг. 8, *в* — *е* представлены включения графита, характерные для нового типа чугуна (высокопрочного чугуна с шаровидным графитом), разработанного ЦНИИТМАШ в содружестве с заводом «Русский Дизель» и АН УССР в 1948—1950 гг.

Металлическая основа высокопрочного чугуна в основном содержит те же структурные составляющие, что и серый чугун. Особенностью ее являются: а) расположение феррита преимущественно в виде оторочек вокруг включений шаровидного графита; б) более тонкое, чем у серого чугуна, дифференцирование составляющих пластинчатого перлита, часто переходящего в сорбитообразный перлит; в) большое измельчение зерна макроизлома.

При недостаточном содержании в сером чугуне кремния или при повышенном содержании магния возможно наличие участков структурно свободного цементита или ледебурита наряду с перлитом и ферритом.

Улучшение свойств серого и высокопрочного чугуна

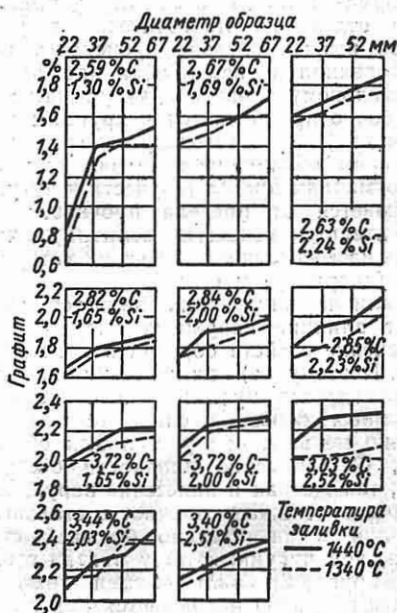
Улучшение свойств чугуна данного химического состава достигается применением порознь или в различных сочетаниях следующих технологических мероприятий: рациональной технологии плавки, модифицирования, регулирования скорости охлаждения и термической обработки.

Влияние технологии плавки. Свойства серого чугуна с пластинчатым графитом зависят от температуры перегрева жидкого чугуна, состава шихты (в частности, содержания стали в шихте), температуры заливки и технологии формы.

На фиг. 8 приведено влияние температуры заливки на графитизацию серого чугуна при различном содержании углерода и кремния, на фиг. 9 — влияние количества стали в шихте на прочность серого чугуна.

Для высокопрочного чугуна с шаровидным графитом соблюдение температурного режима при вводе сфероидизирующих добавок (магния или его сплавов) определяет степень усвоения магния и необходимую температуру жидкого чугуна при заливке форм.

Особенностью состава шихты при выплавке высокопрочного чугуна является



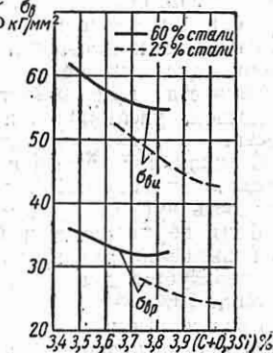
Фиг. 8.

отсутствие или низкое количество (менее 20%) стального лома.

Получение высокопрочного чугуна с повышенными показателями пластических свойств требует применения низкофосфористых шихтовых материалов (см. также т. 5, гл. 1).

Скорость охлаждения зависит от конструкции или приведенной толщины отливки, температуры заливки, химического состава чугуна, теплофизических свойств материала формы и ее температуры.

Зависимость скорости охлаждения от толщины отливки весьма сложна. В первом приближении скорость охлаждения может быть принята обратно пропор-

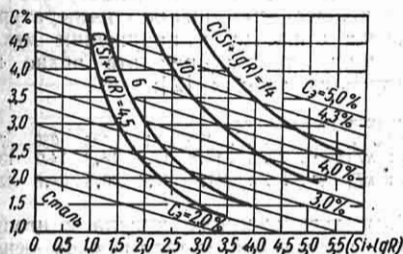


Фиг. 9.

циональной толщине отливки (c — для плоской и диаметр d — для круглой отливки). Приведенная толщина отливки

R равна соответственно $\frac{c}{2}$ и $\frac{d}{4}$.

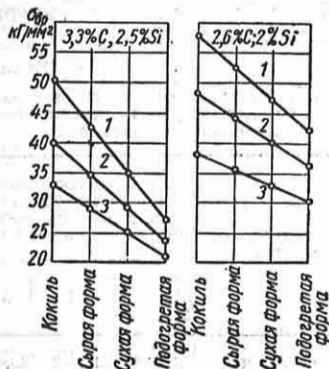
На фиг. 10 представлена зависимость структуры серого чугуна от его состава и приведенной толщины отливки [2]. Эта диаграмма дает возможность



Фиг. 10.

выбрать химический состав серого чугуна для заданной конструкции отливки, причем структура металлической основы характеризуется произведением $C(Si + IgR)$, которое равно для ферритного чугуна числу, большему 14; для перлитного — от 6 до 10 и для белого чугуна — числу, меньшему 4,5.

Линии одинакового углеродного эквивалента (C_e)* позволяют судить о раз-



Фиг. 11. Влияние материала и подгрева формы на прочность чугуна: 1 — улучшенный термической обработкой; 2 — перлитный; 3 — ферритный.

мерах включений графита. Последние тем крупнее, чем выше значение C_e .

* Углеродным эквивалентом называют приведенное содержание углерода в чугуне: $C_e = C + 0,3(Si + P)$, где C , Si и P означают процентное содержание в чугуне углерода, кремния и фосфора.

На фиг. 11 показано влияние материала и подгрева формы на прочность серого чугуна.

Влияние модифицирования. Модифицирование чугуна заключается в обработке его в жидком состоянии небольшими количествами присадок (силикокальция, ферросилиция, силикоалюминия, магния или его сплавов и др.).

Наибольший интерес представляют: а) модифицирование, в результате которого получается графитизация с образованием включений графита пластинчатой формы (модифицированный серый чугун), и б) модифицирование, приводящее к получению в литом состоянии шаровидных включений графита (высокопрочный чугун).

а) Модифицированный серый чугун. Модифицирование значительно улучшает структуру, а также физические и химические свойства серого чугуна, не изменяя существенно его химического состава. В модифицированном сером чугуне зависимость структуры от скорости охлаждения металла значительно меньше, чем в немодифицированном чугуне, что обеспечивает однородность свойств в различных сечениях отливки.

Модифицированием конструкционного серого чугуна достигаются повышение прочности ($\sigma_{вр} = 30 \div 40 \text{ кг/мм}^2$) при сохранении хорошей обрабатываемости; однородность свойств в различных частях отливок, отличающихся резкими переходами в сечениях; повышение износостойкости отливок; уменьшение «роста» чугуна при нагревах; повышение плотности отливок; снижение внутренних напряжений в отливках; повышение коррозионной стойкости; предотвращение образования сетчатой структуры графита с дендритной ориентацией включений (в частности, при высоких температурах выпуска и заливки жидкого металла, при высоком содержании стали в шихте и при наличии тонких сечений в отливках).

Модифицирование специального (легированного) чугуна повышает его обрабатываемость и прочность за счет повышения степени графитизации и предотвращения образования сетчатой структуры графита.

б) Высокопрочный чугун. Модифицирование жидкого чугуна магнием или его сплавами приводит к еще

более значительным изменениям структуры чугуна — в отливке получается шаровидная форма графита. При этом значительно уменьшается также содержание серы в чугуне (до 0,03%). Получаемый чугун, как уже указывалось, обладает более высокими (в 2—2,5 раза) механическими свойствами по сравнению с серым чугуном. аналогичного химического состава и в отличие от него может обладать различной степенью пластичности. Высокопрочный чугун является новым конструкционным материалом, в котором сочетаются многие ценные свойства стали и чугуна.

Важнейшими особенностями высокопрочного чугуна как конструкционного материала являются высокая прочность ($\sigma_{вр} = 45 \div 65 \text{ кг/мм}^2$); высокое отношение пределов текучести и пропорциональности к пределу прочности; наличие пластических свойств, достигающих для отдельных марок этого чугуна значительных величин; меньшая, чем у стали (но большая, чем у серого чугуна) чувствительность к концентраторам напряжений; хорошая восприимчивость к термической обработке, за счет которой можно в значительных пределах регулировать структуру и свойства отливок из этого чугуна; более медленная, чем у углеродистой стали, снижение показателей прочности при нагреве до умеренно высоких температур (до 450—500°С).

Коррозионные свойства высокопрочного чугуна (нелегированного) при комнатной температуре примерно аналогичны свойствам литой углеродистой стали, а теплопроводность на 10—15% ниже, чем у серого чугуна.

Высокопрочный чугун обладает повышенной склонностью к объемной усадке при сохранении величины линейной усадки, удовлетворительной обрабатываемостью резанием, подверженностью автогенной резке, легкой свариваемостью методами газовой сварки с применением стержней из чугуна, содержащего магний, и с получением шва, равнопрочного основному металлу.

Влияние термической обработки *

Термическая обработка серого чугуна в твердом состоянии приводит к изменению свойств за счет воздействия главным

образом на металлическую основу чугуна. В зависимости от вида термической обработки отливок из серого чугуна достигаются снятие напряжений, понижение или повышение твердости, повышение механических свойств.

Для снятия напряжений производят низкотемпературный отжиг. Для обычного чугуна эта обработка осуществляется при температуре 500—600°С. Дальнейшее повышение температуры нагрева приводит к понижению механических свойств, как это видно из следующих данных [2]:

| Температура отжига в °С | 480 | 540 | 595 | 650 | 700 |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|
| $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | 17,6 | 17,6 | 16,8 | 14,0 | 13,4 |
| $\sigma_{ви}$ в кг/мм ² | 41,6 | 41,4 | 40,5 | 35,8 | 32,5 |

Для легированного чугуна с игольчатой структурой металлической основы нагрев до 350°С приводит к повышению механических свойств на 20—35%.

Термическая обработка для снижения твердости применяется с целью улучшения обрабатываемости и достигается отжигом, режим которого зависит от состава и структуры чугуна. При этой обработке пределы прочности чугуна понижаются.

Изменение механических свойств серого чугуна при отжиге при температуре 700°С и различных выдержках приведено в табл. 11.

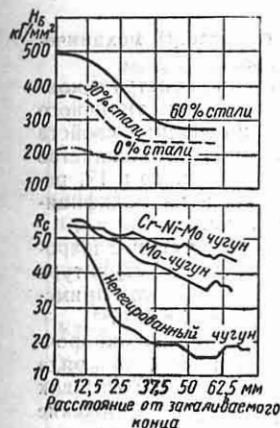
Таблица 11

Влияние продолжительности выдержки при отжиге серого чугуна на его механические свойства [2]

| Механические свойства | Исходный чугун (3% С, 1,5% Si) | Продолжительность выдержки при температуре 700°С в час. | | | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------|------|-----|------|------|
| | | 2 | 4 | 6 | 8 | 12 |
| $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | 25,1 | 23,5 | 21,5 | 20 | 20,4 | 20,1 |
| α_H в кг/см ² | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,4 |
| H_B в кг/мм ² | 197 | 197 | 179 | 137 | 137 | 132 |

Повышение твердости с целью повышения износостойкости достигается закалкой или нормализацией. Когда необходимо местное повышение твердости,

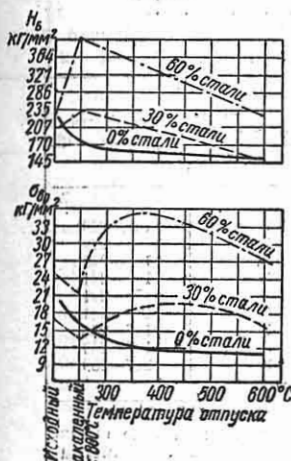
* См. также т. 5, гл. XI.



Фиг. 12.



Фиг. 13. [2]. Влияние температуры закалки и отпуска на прочность и твердость чугуна.

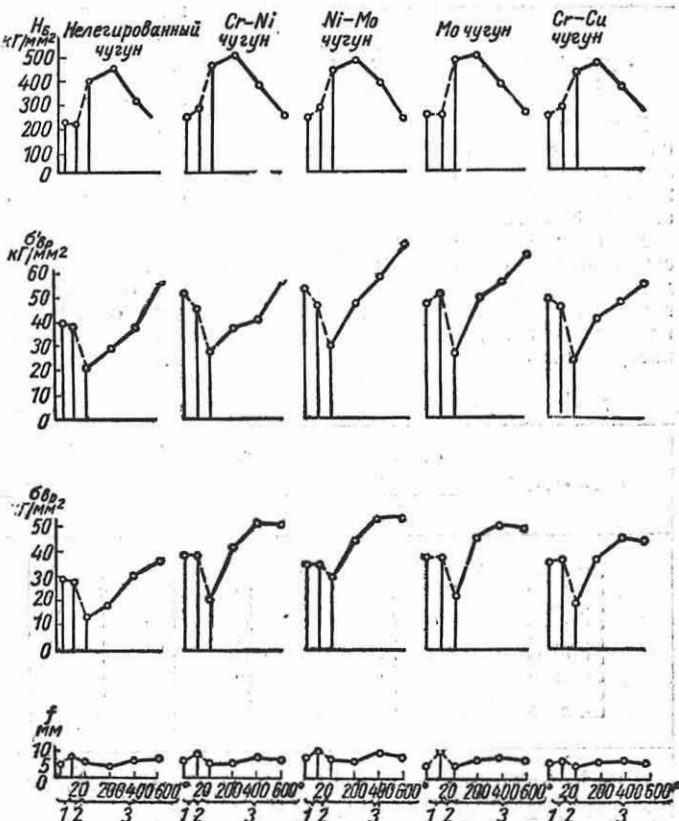


Фиг. 14. [2]. Эффективность термической обработки в зависимости от количества стального скрапа в шихте.

используются специальные приемы термической обработки: поверхностная закалка, азотизация. При термической обработке для повышения твердости имеет значение прокаливаемость чугуна, которая зависит от типа чугуна (фиг. 12).

Повышение механических свойств термической обработкой достигается закалкой с последующим отпуском. Значения получаемых при этом механических свойств зависят от температуры, при которой проводится термическая обработка, состава чугуна и толщины отливки. На фиг. 13—14 приведены зависимости механических свойств серого чугуна от режима термической обработки для различных типов чугуна с пластинчатым графитом. На фиг. 15 показано изменение механических свойств различных типов легированного серого чугуна после закалки и отпуска.

Применительно к высокопрочному чугуну с шаровидным графитом разработаны режимы термической обработки (см. т. 5, гл. XI), дающие возможность в значительных пределах регулировать структуру и свойства этого чугуна.



Фиг. 15. [2]. Механические свойства различных типов серого чугуна с пластинчатым графитом после закалки и отпуска: 1—исходный чугун; 2—нормализованный; 3—закаленный и отпущенный.

Влияние поверхностного упрочнения. Методы поверхностного упрочнения, разработанные применительно к стальным изделиям, эффективны и для отливок из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом. Влияние различных методов поверхностного упрочнения на усталостную прочность характеризуется следующими данными [8].

| Состояние поверхности образца | Вид поверхностной обработки | Изменение предела выносливости в % |
|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| Гладкий образец | Шлифование | 100 |
| " " | Обкатка роликами | 126 |
| Надрезанный образец | Шлифование | 100 |
| То же | Обкатка роликами | 185 |

Применение отливок из серого и высокопрочного чугунов

В зависимости от назначения отливки из серого чугуна можно условно разделить на группы: 1) конструкционные; 2) со специальными физическими свойствами; 3) антифрикционные; 4) особые.

К группе конструкционных относятся отливки, которые должны обладать повышенной прочностью. В эту группу входит основная масса отливок из серого чугуна, применяемых в машиностроении.

В табл. 12—15 приведены механические свойства чугунов.

Примерный перечень конструкционных отливок с указанием типичного химического состава и основных свойств приведен в табл. 16 и 17. Большинство отливок, указанных в табл. 16 и 17, рекомендуется производить из модифицированного серого чугуна.

Новый высокопрочный чугун с шаровидным графитом в литой структуре значительно расширяет пределы применения чугуна в машиностроении.

Основным назначением высокопрочного чугуна является замена ряда отливок и поковок из стали и отливок из ковкого чугуна, а также снижение веса и повышение надежности отливок.

Группу отливок из серого чугуна со специальными свойствами составляют жаростойкие, коррозионностойкие, магнитные и немагнитные (табл. 18).

Хорошая износостойкость чугуна открывает возможность его использования в качестве заменителя цветных металлов.

Антифрикционные чугуны разделяются на следующие группы: а) чугун с пластинчатым графитом или серый чугун (СЧ1, СЧ2, титаномедистый); б) чугун с шаровидным графитом (перлитный и перлитно-ферритный, перлитный нормализованный); в) ковкий чугун (перлитный и перлитно-ферритный, медистый, титаномарганцовистый).

Химический состав антифрикционных чугунов приведен в табл. 19.

Таблица 12

Механические свойства серого чугуна с пластинчатым графитом по ГОСТ 1412-54

| Марка чугуна | Предел прочности в кг/мм ² (не менее) при | | Стрела прогиба в мм при испытании на изгиб; расстояние между опорами образца в мм | | Твердость НВ в кг/мм ² |
|--------------|------------------------------------------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|-----------------------------------|
| | растяжении | изгибе | 600 | 300 | |
| СЧ 12-28 | 12 | 28 | 6 | 2 | 143—229 |
| СЧ 15-32 | 15 | 32 | 8 | 2,5 | 163—229 |
| СЧ 18-36 | 18 | 36 | 8 | 2,5 | 170—229 |
| СЧ 21-40 | 21 | 40 | 9 | 3 | 170—241 |
| СЧ 24-44 | 24 | 44 | 9 | 3 | 170—241 |
| СЧ 28-48 | 28 | 48 | 9 | 3 | 170—241 |
| СЧ 32-52 | 32 | 52 | 9 | 3 | 187—255 |
| СЧ 35-56 | 35 | 56 | 9 | 3 | 197—269 |
| СЧ 38-60 | 38 | 60 | 9 | 3 | 207—269 |

Примечание. Для определения марки чугуна испытания производятся по ГОСТ 2055-43 и ГОСТ 1412-54: на изгиб — на цилиндрических брусках в необработанном виде: а) размером $\varnothing 30 \times 650$ мм — при расстоянии между опорами 600 мм; б) размером $\varnothing 30 \times 340$ мм — при расстоянии между опорами 300 мм; на растяжение — по ГОСТ 1497-42 на образцах диаметром 10 или 15 мм с пятикратной расчетной длиной.

Для отливок с толщиной стенок свыше 50 мм допускаются образцы иного диаметра.

Таблица 13

Механические свойства высокопрочного чугуна с шаровидным графитом [21]

| Наименование показателей | С перлитной структурой (при содержании феррита до 20%) | С ферритной структурой (при содержании перлита до 15%) | Наименование показателей | С перлитной структурой (при содержании феррита до 20%) | С ферритной структурой (при содержании перлита до 15%) |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Пределы прочности в $кг/мм^2$ при: | | | Модуль упругости при растяжении в $кг/мм^2$ | $(1,3-1,6) 10^4$ 217-285 | $(1,4-1,6) 10^4$ 180-229 |
| растяжении | 45-65 | 40-55 | Твердость H_B | | |
| сжати | 170-220 | 170-220 | Ударная вязкость в $кг/см^2$ | До 3,5 | 4-10 |
| изгибе | 70-120 | 70-120 | Предел выносливости в $кг/мм^2$ при изгибе вращающегося образца: | | |
| кручении | 50-60 | 50-60 | гладкого | 15-25 10-20 | 20-25 — |
| Стрела прогиба ($l = 300$ мм) в мм | 4-6 | 8-12 | надрезанного | | |
| Удлинение при растяжении в % | До 6 | 7-20 | Циклическая вязкость ($\tau_{вк} = 0,25\sigma_{вр}$) в % | 4-5 | |
| Предел текучести при растяжении в $кг/мм^2$ | $(0,6-0,8)\sigma_{вр}$ | | | | |

Примечания: 1. Нижние пределы значений показателей прочности соответствуют для чугуна с перлитной структурой верхнему пределу содержания феррита.
2. Верхние значения показателей пластических свойств соответствуют пониженному значению содержания фосфора, а для чугуна с ферритной структурой, кроме того, состоянию после отжига.
3. Ударная вязкость определялась для чугуна с δ до 10% на образцах с поперечным сечением 20×20 мм, а при $\delta > 10\%$ — с поперечным сечением 10×10 мм. В обоих случаях образцы без надреза.

Таблица 14

Механические свойства высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (по ГОСТ 7293-54)

| Марка чугуна | Показатели (не менее) | | | | | | |
|--------------|------------------------------|---------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------|----------------------|---------|
| | Обязательные | | Факультативные | | | | |
| | $\sigma_{вр}$ в $кг/мм^2$ | δ % | $\sigma_{0,2}$ в $кг/мм^2$ | $\sigma_{ви}$ в $кг/мм^2$ | f мм $l = 300$ мм | a_n в $кг/см^2$ | H_B |
| ВЧ 45-0 | 45 | Не регламентируется | 36 | 70 | 4,0 | Не регламентируется | 187-255 |
| ВЧ 45-5 | 45 | 5 | 33 | 70 | 5,0 | 2,5 | 170-207 |
| ВЧ 40-10 | 40 | 10 | 30 | 70 | 30,0 | 4,0 | 156-197 |
| ВЧ 50-1,5 | 50 | 1,5 | 38 | 90 | 5,0 | 1,5 | 187-255 |
| ВЧ 60-2 | 60 | 2 | 42 | 110 | 5,0 | 2,0 | 197-269 |

Применение антифрикционного чугуна взамен бронзы требует: а) повышенной точности механической обработки и точного сопряжения трущихся поверхностей деталей, б) непрерывной и качественной смазки, в) увеличения (по сравнению с принятыми для бронзы) зазоров. Кроме того, антифрикционный серый чугун может применяться только в таких узлах трения, где исключается ударное приложение нагрузки.

При небольших ударных или толчко-

образных нагрузках, а также при повышенных окружных скоростях (более 2-3 м/сек) рекомендуется применять антифрикционный чугун ковкий или с шаровидным графитом.

Группу особых отливок из серого чугуна составляют отливки, условия эксплуатации которых определяются специальными требованиями (изложницы, поршневые кольца, прокатные валки и др.).

Данные по этой группе отливок приведены в табл. 20.

Механические свойства модифициро

| Марка чугуна (по ГОСТ 1412-54) | | СЧ 21-40 | | | | СЧ 24-44 | | | |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|
| Диаметр литой заготовки в мм | | 30 | 50 | 100 | 200 | 30 | 50 | 100 | 200 |
| <i>Механические свойства при</i> | | | | | | | | | |
| Пределы прочности в кг/мм^2 при | растяжении $\sigma_{вр}$ | 21 | 19 | 12 | | 24 | 24 | 22 | 20 |
| | сжатии $\sigma_{в сж}$ | 95 | 85 | 47 | | 100 | 100 | 95 | 90 |
| | изгибе $\sigma_{ви}$ | 40 | 40 | 35 | 35 | 44 | 44 | 42 | 42 |
| | срезе $\tau_{в ср}$ | 24 | 22 | 18 | 15 | 28 | 26 | 23 | 20 |
| | кручении $\tau_{в к}$ | 28 | 25 | 24 | 22 | 30 | 30 | 28 | 25 |
| Стрела прогиба в мм при расстоянии между опорами в мм | 300 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | 600 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| Твердость по Бринелю H_B | | 180—207 | 180—207 | 143—180 | 143—180 | 187—217 | 187—217 | 163—207 | 143—187 |
| Модуль упругости в кг/мм^2 при | растяжении $E_{0,2\sigma_{вр}}$ | 8 500 | 7 500 | 6 000 | 4 800 | 11 000 | 10 000 | 9 000 | 7 800 |
| | сжатии $E_{0,2\sigma_{в сж}}$ | 8 500 | 7 500 | 6 000 | 4 800 | 11 000 | 10 000 | 9 000 | 7 800 |
| Модуль сдвига при кручении G в кг/мм^2 | | 4 500 | 3 800 | 3 000 | 2 500 | 4 800 | 4 100 | 3 300 | 2 700 |
| <i>Механические свойства при</i> | | | | | | | | | |
| Ударная вязкость a_H в кгм/см^2 | | 0,9 | 0,9 | 0,5 | 0,4 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,6 |
| <i>Механические свойства при</i> | | | | | | | | | |
| Предел выносливости при изгибе в кг/мм^2 на образцах | гладком $\sigma_{ли}$ | 10 | 10 | 10 | 9 | 12 | 11 | 10 | 9 |
| | надрезанном $\sigma_{ли надр}$ | 9 | 9 | 9 | 9 | 10 | 10 | 9,5 | 9 |
| Циклическая вязкость * в % | | 18 | 18 | 25 | 30 | 18 | 18 | 25 | 30 |
| Предел текучести $\sigma_{0,2}$ в кг/мм^2 | | $0,75 \sigma_{вр} (\tau_{вк})$ | | | | | | | |

* При $\tau_{вк} = \frac{\sigma_{вр}}{3}$

ванного серого чугуна (нелегированного)

Таблица 15

| СЧ 28-48 | | | | СЧ 32-52 | | | | СЧ 35-56 | | | | СЧ 38-60 | | | |
|----------------------------------------|-------------|-------------|-------------|----------------------------------------|-------------|-------------|-------------|----------------------------------------|-------------|-------------|-------------|----------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 30 | 50 | 100 | 200 | 30 | 50 | 100 | 200 | 30 | 50 | 100 | 200 | 30 | 50 | 100 | 200 |
| <i>статических нагрузках</i> | | | | | | | | | | | | | | | |
| 28 | 27 | 26 | 25 | 32 | 30 | 28 | 26 | 35 | 34 | 30 | 26 | 38 | 35 | 32 | 27 |
| 110 | 110 | 100 | 90 | 120 | 120 | 115 | 95 | 120 | 120 | 115 | 100 | 140 | 135 | 120 | 105 |
| 48 | 48 | 48 | 48 | 52 | 52 | 52 | 52 | 56 | 56 | 56 | 56 | 60 | 60 | 60 | 55 |
| 35 | 33 | 30 | 28 | 39 | 38 | 35 | 31 | 40 | 39 | 36 | 34 | 44 | 42 | 38 | 35 |
| 35 | 35 | 34 | 33 | 39 | 39 | 38 | 32 | 40 | 39 | 38 | 32 | 46 | 44 | 40 | 33 |
| 3 | 3 | 4 | 4,5 | 3,5 | 3,5 | 4 | 4,5 | 4 | 4 | 4 | 4,5 | 4 | 4 | 4 | 4,5 |
| 9 | 9 | 11 | 12 | 10 | 10 | 11 | 12 | 11 | 11 | 11 | 12 | 11 | 11 | 11 | 12 |
| 170— 241 | 170— 241 | 170— 229 | 170— 217 | 170— 241 | 170— 241 | 170— 229 | 170— 229 | 197— 255 | 197— 255 | 197— 255 | 197— 241 | 197— 255 | 197— 255 | 197— 255 | 197— 255 |
| 12000 | 11000 | 10000 | 8200 | 13000 | 12000 | 10000 | 8900 | 14500 | 13000 | 11500 | 10000 | 16000 | 14400 | 12600 | 11000 |
| 12000 | 11000 | 10000 | 8200 | 13000 | 12000 | 10000 | 8900 | 14500 | 13000 | 11500 | 10000 | 16000 | 14400 | 12600 | 11000 |
| 5200 | 4750 | 4000 | 3500 | 5600 | 5000 | 4500 | 3800 | 6400 | 5750 | 5000 | 4400 | 7000 | 6300 | 5500 | 4800 |
| <i>ударных нагрузках</i> | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 0,8 | 0,6 | 1 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 1,1 | 1 | 0,8 | 0,6 | 1 | 0,8 | 0,7 | 0,6 |
| <i>циклических нагрузках</i> | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | 14 | 12,5 | 9 | 14 | 14 | 12,5 | 11 | 15 | 15 | 12,5 | 11 | 15 | 15 | 12,5 | 11 |
| 12 | 12 | 12,5 | 9 | 13 | 13 | 12,5 | 11 | 14 | 14 | 12,5 | 11 | 14 | 14 | 12,5 | 11 |
| 18 | 18 | 22 | 30 | 18 | 18 | 20 | 25 | 18 | 18 | 20 | 25 | 18 | 18 | 20 | 25 |
| 0,75σ _{вр} (τ _{вк}) | | | | 0,85σ _{вр} (τ _{вк}) | | | | 0,75σ _{вр} (τ _{вк}) | | | | 0,85σ _{вр} (τ _{вк}) | | | |

Отливки из серого чугуна малой и средней прочности [20]

| Категория отливок и область применения | № состава | Определены ли в МК Юная тол- щина стел- | Марка по ГОСТ 1412-54 | Химический состав в % | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| | | | | Собиц | С _{св} | Si | Mn | P | S | Cr | Ni |
| Обыкновенные, машинностро- ительные | 1 | < 25 | СЧ 00 СЧ 12-28 СЧ 15-32 | 3,3—3,6 | 0,2—0,5 | 2—2,5 | 0,6—0,8 | 0,3—0,8 | До 0,15 | — | — |
| | 2 | 25—75 | СЧ 12-28 СЧ 15-32 | 3,3—3,6 | 0,2—0,5 | 1,5—2,0 | 0,5—1 | < 0,5 | То же | — | — |
| | 3 | < 25 | СЧ 12-28 СЧ 15-32 СЧ 18-36 | 3,3—3,6 | 0,3—0,6 | 1,8—2,5 | 0,6—1 | 0,4—0,8 | * | — | — |
| | 4 | 25—75 | СЧ 12-28 СЧ 15-32 СЧ 18-36 | 3,2—3,5 | 0,3—0,6 | 1,5—2,0 | 0,7—0,9 | < 0,5 | * | До 0,2 | До 0,5 |
| | 5 | > 75 | СЧ 12-28 СЧ 15-32 СЧ 18-36 | 3—3,2 | 0,3—0,6 | 1,2—1,5 | 0,8—1,0 | < 0,4 | * | До 0,3 | До 0,5 |
| Станкоотливание: 1) Отливки, работающие при малом напряжении и без трения; а) легкие | 6 | 15—25 | СЧ 12-28 СЧ 15-32 | 3,2—3,5 | 0,3—0,4 | 2,4—2,6 | 0,5—0,7 | < 0,5 | * | — | — |
| б) средние | 7 | > 25 | СЧ 12-28 СЧ 15-32 | 3,2—3,5 | 0,3—0,4 | 1,8—2,4 | 0,6—0,9 | < 0,4 | * | — | — |
| 2) Отливки, работающие при среднем напряжении и на износ при малых (~5 кг/см ²) удельных давлениях | 8 | 20—40 | СЧ 15-32 СЧ 18-36 | 3—3,3 | 0,4—0,6 | 1,5—2,2 | 0,6—1 | 0,3—0,5 | * | До 0,2 | До 0,5 |
| Тонкостенные отливки с разны- ми габаритными размерами небольшого веса: а) очень легкие | 9 | < 10 | СЧ 15-32 СЧ 18-36 | 3,5—3,6 | 0,4—0,6 | 2,6—2,8 | < 0,6 | 0,5—0,6 | До 0,1 | — | — |
| | 10 | 10—25 | СЧ 15-32 СЧ 18-36 | 3,4—3,5 | 0,4—0,6 | 2,4—2,6 | < 0,6 | < 0,5 | То же | — | — |
| | 11 | > 25 | СЧ 15-32 СЧ 18-36 | 3,3—3,5 | 0,4—0,6 | 2,2—2,4 | 0,5—0,7 | < 0,5 | * | — | — |

Таблица 17

Отливки из серого чугуна повышенной прочности [20]

| Категория отливок и область применения | № состава | Пределы прочности в кг/см ² | Марка по ГОСТ 1412-48 | Химический состав в % | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|---------|---------|------|---------|-----------|-----------|---------|---------|---|---|---|--------|
| | | | | Собищ. | С _{св} | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mo | Cu | | | | |
| Ответственные отливки для машин двигателей и корунды (цилиндры, шестерни, станины, рамы, корпусы, маховики и пр.) | 1 | 7-30 | СЧ 24-44 | ≤3,5 | 0,7-0,85 | 1-1,3 | 0,7-1 | ≤0,3 | До 0,15 | 0,4 | — | — | — | — | — | — | — |
| | 2 | 30-60 | СЧ 24-44 | ≤3,2 | 0,7-0,85 | 1,2-1,6 | 0,7-1 | ≤0,3 | 0,15 | 0,5 | — | — | — | — | — | — | — |
| | 3 | 60-80 | СЧ 24-44 | ≤2,9 | 0,7-0,85 | 1,2-1,6 | 0,7-1 | ≤0,3 | 0,15 | 0,5 | — | — | — | — | — | — | — |
| | 4 | 20-60 | СЧ 28-48 | 2,7-3 | 0,6-0,8 | 1,2-1,6 | 0,8-1,2 | ≤0,2 | 0,15 | 0,5 | — | — | — | — | — | — | — |
| | 5 | 20-60 | СЧ 28-48 | 2,9-3,2 | 0,6-0,8 | 1,5-1,8 | 0,8-1,2 | ≤0,2 | 0,15 | 0,5 | — | — | — | — | — | — | — |
| | 6 | 20-100 | СЧ 32-52 | 2,6-2,9 | 0,6-0,8 | ≤2 | 1,0-1,4 | ≤0,2 | 0,1 | 0,5 | — | — | — | — | — | — | — |
| Блоки цилиндров тракторов, автомобилей, тормозные барабаны, диски сцепления | 7 | 9-25 | СЧ 21-40 | 3,2-3,5 | 0,5-0,7 | 2,1-2,4 | 0,5-0,8 | ≤0,2 | 0,13 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 8 | 9-25 | СЧ 21-40 | 3,3-3,5 | 0,6-0,7 | 1,8-2,1 | 0,6-0,8 | ≤0,2 | 0,12 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 9 | 9-25 | СЧ 21-40 | 3,3-3,5 | 0,6-0,7 | 2,1-2,3 | 0,6-0,7 | ≤0,2 | 0,12 | ≤0,2 | — | — | — | — | — | — | (0,75) |
| Блоки цилиндров тракторов, автомобилей, головки бендикса, гильзы | 10 | 6-60 | СЧ 24-44 | 3-3,4 | 0,5-0,9 | 2,2-2,5 | 0,5-0,9 | ≤0,2 | 0,12 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 11 | 9-25 | СЧ 24-44 | 3,2-3,4 | 0,6-0,7 | 2,2-2,6 | 0,6-0,8 | ≤0,2 | 0,12 | 0,6-0,8 | 0,25-0,35 | — | — | — | — | — | — |
| | 12 | 5-30 | СЧ 24-44 | 3,1-3,4 | 0,7-0,8 | 1,8-2 | 0,4-0,6 | ≤0,2 | 0,12 | 0,2-0,5 | 0,4-0,7 | — | — | — | — | — | — |
| | 13 | 5-20 | СЧ 24-44 | 3,2-3,4 | 0,6-0,8 | 1,8-2,2 | 0,7-0,8 | ≤0,2 | 0,12 | 1,0-1,5 | 0,5-0,6 | — | — | — | — | — | — |
| | 14 | 5-20 | СЧ 28-48 | 3,1-3,4 | 0,5-0,7 | 2,2-2,4 | 0,6-0,8 | ≤0,2 | 0,08 | — | — | 0,3-0,5 | 0,4-0,5 | — | — | — | — |
| | 15 | 20-60 | СЧ 21-40 | 2,9-3,1 | 0,6-0,7 | 1,2-1,3 | 0,8-1 | ≤0,2 | 0,12 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Цилиндры паровозные, поршневые, поршневые и пр. Цилиндры паровозные и дизельные Цилиндры и крышки паровых машин Головки олока, поршней и тракторов Головки дизелей | 16 | 20-60 | СЧ 28-48 | 2,8-3,1 | 0,6-0,8 | 0,9-1 | 0,6-0,8 | ≤0,2 | 0,12 | 0,75-1,25 | — | — | — | — | — | — | — |
| | 17 | 50-100 | СЧ 32-52 | 2,9-3,1 | 0,6-0,8 | 1,4-1,6 | 0,8-1 | ≤0,2 | 0,12 | 1,25-1,5 | ≤0,5 | — | — | — | — | — | — |
| | 18 | 5-25 | СЧ 21-40 | 3,2-3,5 | 0,5-0,7 | 2,4-2,6 | 0,6-0,8 | ≤0,2 | 0,1 | 0,15-0,25 | 0,1-0,2 | — | — | — | — | — | (0,5) |
| | 19 | 20-65 | СЧ 28-48 | 3-3,2 | 0,7-0,9 | 0,9-1,2 | 0,6-0,8 | ≤0,2 | 0,1 | — | 1-1,25 | 0,1-0,2 | — | — | — | — | — |
| | 20 | 15-40 | СЧ 28-48 | 2,9-3,2 | 0,7-0,9 | 1,6-1,8 | 0,5-0,7 | ≤0,2 | До 0,12 | 1,2-1,5 | 0,3-0,5 | — | — | — | — | — | — |
| Круглые заготовки для поршней, гильз, колец и пр. | 21 | До 300 | СЧ 24-44 | 3,4-3,5 | 0,5-0,6 | 1,4-1,6 | 0,8-0,9 | ≤0,2 | 0,12 | ≤0,1 | 0,25-0,35 | — | — | — | — | — | — |

| Категория отливок и область применения | № состава | Определенная толщина ступицы в мм | Марка по ГОСТ 1412-51 | Химический состав в % | | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------|-----------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|---------|---------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----|
| | | | | С _{общ} | С _{св} | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mo | Cu |
| Цилиндры компрессоров и насосов, рамы | 22 | 15-35 | СЧ 24-44 | 3,1-3,3 | 0,7-0,8 | 1,6-1,8 | 0,5-0,7 | ≤0,12 | До 0,12 | 1-1,25 | - | - | - |
| | 23 | 40-70 | СЧ 28-48 | 2,9-3,1 | 0,7-0,8 | 1,2-1,5 | 0,6-0,8 | ≤0,15 | " | ≤1,5 | - | - | - |
| | | | СЧ 28-48 | 2,9-3,1 | 0,6-0,7 | 1,2-1,5 | 0,7-1 | ≤0,12 | " | 0,4-0,6 | - | (0,2-0,3) | - |
| | | | СЧ 24-41 | 3,3-3,5 | 0,6-0,7 | 1,2-1,3 | 0,8-1 | ≤0,2 | " | 0,2-0,3 | - | - | - |
| Маховики | 25 | 60-150 | СЧ 24-44 | 2,7-3,2 | 0,6-0,7 | 1,1-1,8 | 0,6-1,2 | ≤0,35 | 0,12 | - | - | - | |
| | 26 | 20-100 | СЧ 24-44 | 3-3,4 | 0,6-0,8 | 1,7-1,9 | 0,6-0,9 | 0,2-0,3 | " | 0,75-1,25 | ≤0,35 | - | - |
| | | | СЧ 28-48 | 2,9-3,2 | 0,6-0,8 | 1-1,3 | 0,6-0,9 | 0,1-0,2 | " | 1-1,5 | ≤0,5 | - | - |
| | | | СЧ 24-44 | 3,1-3,3 | 0,6-0,8 | 1,4-1,6 | 0,7-0,8 | ≤0,2 | " | 0,12 | - | - | ≤1 |
| Станины и другие ответственные детали станков | 27 | 15-35 | СЧ 24-44 | 3,1-3,3 | 0,6-0,8 | 1,6-1,8 | 0,7-0,9 | ≤0,2 | 0,12 | - | - | - | |
| | 28 | 20-100 | СЧ 24-44 | 3,1-3,3 | 0,6-0,8 | 1,6-1,8 | 0,7-0,9 | ≤0,2 | 0,12 | - | - | - | - |
| | | | СЧ 28-48 | 2,9-3,2 | 0,6-0,8 | 1-1,3 | 0,6-0,9 | 0,1-0,2 | " | 0,75-1,25 | ≤0,35 | - | - |
| | | | СЧ 24-44 | 3,1-3,3 | 0,6-0,8 | 1,4-1,6 | 0,7-0,8 | ≤0,2 | " | 0,12 | - | - | ≤1 |
| Колонны радиально-сверлильных станков | 29 | 12-60 | СЧ 24-44 | 3,1-3,3 | 0,6-0,8 | 1,4-1,6 | 0,7-0,8 | ≤0,2 | 0,12 | - | - | - | |
| | 30 | 20 | СЧ 28-48 | 3-3,2 | 0,6-0,7 | 2,4-2,5 | 0,6-0,8 | 0,15-0,25 | 0,05-0,1 | - | - | 0,7-0,8 | - |
| | | | СЧ 32-52 | 3,1-3,3 | 0,6-0,7 | 2,0-2,2 | 0,7-0,8 | 0,2-0,25 | 0,05-0,1 | ≤0,5 | - | ≤0,5 | - |
| | | | СЧ 24-44 | 3,1-3,2 | 0,6-0,7 | 1,2-1,6 | 0,6-0,7 | ≤0,2 | До 0,12 | 1-1,5 | 0,25-0,5 | - | - |
| Шестерни, кулачки, столы машин и др. | 32 | 20-30 | СЧ 24-44 | 3,1-3,2 | 0,6-0,7 | 1,2-1,6 | 0,6-0,7 | ≤0,2 | До 0,12 | 1-1,5 | 0,25-0,5 | - | |
| | 33 | 50-250 | СЧ 28-48 | 2,8-3,1 | 0,5-0,6 | 1,2-1,5 | 0,6-0,8 | ≤0,2 | " | 0,12 | 1,5-2 | 0,5-0,6 | - |
| СЧ 24-44 | | | 3,1-3,2 | 0,6-0,7 | 1,2-1,6 | 0,6-0,7 | ≤0,2 | До 0,12 | 1-1,5 | 0,25-0,5 | - | - | |
| Штампы для холодной высадки | 33 | 50-250 | СЧ 28-48 | 2,8-3,1 | 0,5-0,6 | 1,2-1,5 | 0,6-0,8 | ≤0,2 | " | 0,12 | 1,5-2 | 0,5-0,6 | - |

Химический состав антифрикционных чугунов

| Группа | Тип | Содержание в % | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|----------------|-----------|-----------------|----------|---------|----------|---------|---------|--------|----|-------------------------|------------|
| | | C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | Cu | Ti | Mg | Al | |
| Серый с пла- стинчатом графитом | СЧЦ1 | 3,2—3,6 | 1,6—2,4 | 0,6—0,9 | 0,15—0,2 | До 0,12 | 0,2—0,35 | 0,3—0,4 | 0,2—0,3 | — | — | — | 0,1—0,15 |
| | СЧЦ2 | 3,2—3,6 | 1,6—2,4 | 0,6—0,9 | 0,15—0,2 | 0,12 | 0,2—0,35 | 0,3—0,4 | — | — | — | — | — |
| | Титаномедистый | >3,2 | 1,3—2,2 | 0,4—0,7 | 0,2—0,4 | 0,12 | 0,3—0,5 | 0,2—0,4 | 0,3—0,5 | До 0,1 | — | — | — |
| Ковкий | Перлитный и перлит- но-ферритный | 2,4—2,6 | 0,8—1,4 | 0,4—0,6 | До 0,12 | 0,12 | — | — | — | — | — | — | — |
| | | 2,4—2,7 | 1—1,3 | 0,3—0,5 | 0,15 | 0,12 | — | — | — | — | — | — | — |
| | | 2,9—3,1 | 0,95—1,15 | 0,5—0,7 | 0,12 | 0,12 | — | — | — | — | — | — | — |
| Литой | Медистый ЧМ 1,3 | 2,3—3 | 0,6—1,3 | 0,6—1,2 | 0,2 | 0,12 | — | — | 1—1,5 | — | — | — | — |
| | Титаномарганцови- стый | 2,5—2,7 | 1—1,15 | 1—1,2 1,7—2* | 0,12 | 0,12 | — | — | — | — | — | 0,05—0,07 0,12—0,15* | — |
| Чугун с шаро- видным гра- фитом | Литой | 2,8—3,5 | 2,2—2,7 | 0,5—0,8 | 0,2 | 0,03 | — | — | — | — | — | — | Более 0,05 |
| | Нормализованный | 2,8—3,5 | 1,8—2,5 | 0,5—0,8 | 0,2 | 0,03 | — | — | — | — | — | — | Более 0,05 |

* Для ремонтного литья.

Особые отливки из серого чугуна [1]; [2]; [20]

Таблица 20

| Группа отливок | Химический состав в % | | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------|---------|---------|-----------|-----------|---------|-----------|
| | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mo |
| Изложницы для стальных слитков: | | | | | | | | |
| а) крупные (для слитков весом 8—10 т) | 3,5—3,6 | 1,6—2 | 0,6—0,8 | <0,15 | До 0,1 | — | — | — |
| б) средние (для слитков весом 3—8 т) | 3,4—3,5 | 1,6—1,8 | 0,8—1 | <0,15 | „ 0,1 | — | — | — |
| в) мелкие (для слитков весом менее 3 т) | 3,1—3,3 | 1,6—2,2 | 0,8—1,2 | <0,15 | „ 0,1 | — | — | — |
| Валки прокатные полутвердые: | | | | | | | | |
| а) для мелко- и среднесортного проката | До 3,4 | 0,4—0,8 | 0,6—1 | До 0,2 | „ 0,12 | — | — | — |
| б) для крупносортного проката: | | | | | | | | |
| чугун нелегированный | „ 3 | 0,4—0,6 | До 1,5 | „ 0,2 | „ 0,1 | — | — | — |
| „ легированный | „ 3,2 | 0,7—1,3 | „ 0,8 | „ 0,2 | „ 0,1 | 0,7—1,5 | 0,5—1 | — |
| в) для листового проката: | | | | | | | | |
| 1) кровельные, жесткостальные, отбеленные | 2,7—3,9 | 0,4—0,7 | 0,2—0,5 | „ 0,5 | „ 0,10 | — | — | (0,2—0,4) |
| 2) для холодной прокатки | 2,8—3,7 | 0,4—0,6 | 0,5—0,9 | „ 0,5 | „ 0,1 | 1—1,6 | 0,4—0,7 | — |
| 3) двухслойные: | | | | | | | | |
| наружный слой | 2,8—3,6 | 0,4—0,7 | 0,4—1 | „ 0,5 | „ 0,1 | 3,5—4,5 | 0,5—0,7 | 0,3—0,4 |
| сердцевина | 3,7—3,4 | 0,5—0,8 | 0,3—0,7 | „ 0,5 | „ 0,1 | 1,5—2,5 | 0,2—0,4 | 0,1—0,2 |
| Поршневые кольца для бензиновых и дизельных двигателей: | | | | | | | | |
| а) индивидуальная отливка: | | | | | | | | |
| большие | 3,5—3,7 | 1,5—1,9 | 0,5—0,8 | 0,3—0,5 | 0,06—0,1 | 0,5—1 | 0,2—0,6 | 0,2—0,6 |
| малые | 3,6—3,8 | 2,7—3 | 0,5—0,7 | 0,5—0,6 | 0,06—0,09 | (<0,3) | (<0,3) | — |
| б) маслоты | 3—3,7 | 1,5—2 | 0,6—1,2 | 0,3—0,5 | До 0,1 | (0,2—0,4) | (<0,6) | — |
| Трубы водопроводные и газовые; другие детали, работающие под давлением | 3,3—3,6 | 1,7—2,5 | 0,5—0,9 | 0,3—0,8 | „ 0,1 | — | — | — |
| Художественное литье: украшения для колонн, дверей, мебели; статуи, бюсты, барельефы и т. д. | 3,3—4 | 2—2,5 | 0,6—0,9 | 0,5—1,2 | 0,08—0,12 | — | — | — |

БЕЛЫЙ ЧУГУН

В белом чугуне почти весь углерод находится в связанном состоянии и только незначительная его часть (0,03—0,30%) обнаруживается в виде графита.

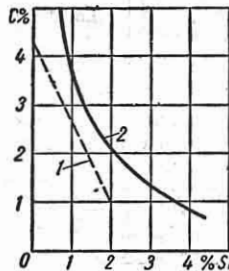
Структура белого чугуна достигается подбором химического состава и условий охлаждения.

При обычных условиях охлаждения структура белого чугуна в отливках мелкого и среднего веса достигается полностью, в тяжелых отливках должна обеспечиваться на глубину не менее 100—125 мм.

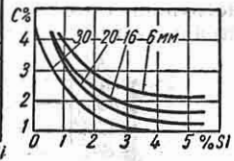
На структурной диаграмме (фиг. 16) линией 1 ограничена область, отвечающая структурам белого чугуна для образцов диаметром 50 мм при средних содержаниях углерода 2,5—3,5%. Эта линия соответствует уравнению $C + nSi = const$. Линия 2 ограничивает область структур белого чугуна для

образцов диаметром 30 мм и соответствует уравнению $C(Si + lg R) = const$.

На фиг. 17 представлено расширение области структуры белого чугуна



Фиг. 16.



Фиг. 17.

с уменьшением диаметра образца от 30 до 6 мм.

Для отливок с приведенной толщиной R (отношение площади сечения к периметру) получение структур белого чугуна определяется условием [2]; [3]

$$C(Si + lg R) < 4,5.$$

При отливке в металлические формы получение структуры белого чугуна возможно при повышенном содержании кремния сравнительно с содержанием его в чугуне, заливаемом в песчаную форму.

Структура белого чугуна состоит из ледурита и перлита (фиг. В, см. вклейку).

В обычном белом чугуне связанный углерод содержится в виде карбидов железа (цементита), карбидов марганца и др. В легированном белом чугуне присутствуют как карбиды легирующих элементов, так и их карбиды, смешанные с карбидом железа.

Свойства белого чугуна

Физико-механические свойства белого чугуна приведены в табл. 21.

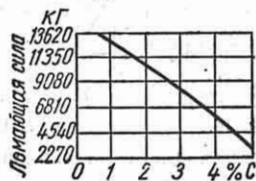
Хрупкость белого чугуна не допускает применения его в изделиях, подвергающихся ударным нагрузкам.

Таблица 21

Физико-механические свойства белого чугуна

| Свойства | Показатель |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------|
| Температура плавления в °С . . . | 1100—1150 |
| Усадка в % | 2 |
| Удельный вес | 7,4—7,6 |
| Коэффициент линейного расширения при 20—100° в см/см·град | (9—10)·10 ⁻⁶ |
| Теплопроводность в кал/см сек °С | 0,05—0,12 |
| Динамическая вязкость в дин·см | 0,03 |
| Электросопротивление в мком·см | 30—100 |
| Предел прочности при растяжении в кг/мм ² | 14,5 |
| Удлинение при разрыве в % . . . | 0 |
| Модуль упругости в кг/мм ² | 17 000 |
| Предел прочности при сжатии в кг/мм ² | До 250 |
| Предел прочности при изгибе в кг/мм ² | „ 25 |

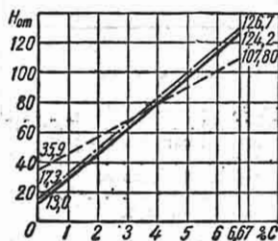
Отливки белого чугуна обладают износоупорностью, относительной жаростойкостью и коррозионной стойкостью.



Фиг. 18.

Прочность белого чугуна снижается с увеличением содержания в нем углерода (фиг. 18), а следовательно, и цементита [20].

Твердость белого чугуна возрастает с ростом цементита в его структуре, а следовательно, и с увеличением содержания углерода [20] (фиг. 19)*; наи-



Фиг. 19.

большой твердостью обладает чугун с дисперсной структурой. С уменьшением размеров зерен цементита твердость чугуна возрастает.

Наивысшую твердость имеет белый чугун с мартенситной структурой основной металлической массы.

На фиг. 20 дана зависимость между содержанием углерода и твердостью белого чугуна с перлитной (нижняя линия) и мартенситной структурой основной металлической массы (верхняя линия) [14].

При коагулировании цементита твердость чугуна резко снижается.

При растворении в карбиде железа примесей и образовании сложных карбидов твердость цементита и белого чугуна повышается.

По интенсивности влияния на твердость белого чугуна основные и легирующие элементы располагаются в такой последовательности, начиная с углерода, определяющего количество карбидов и интенсивнее иных элементов увеличивающего твердость чугуна: С — Ni — P — Mn — Cr — Mo — V — Si — Al — Cu — Ti — S.

Действие никеля и марганца, а также хрома и молибдена, обуславливается их влиянием на образование мартенситно-карбидной структуры и при содержании их в количествах, соответствующих содержанию в чугуне углерода,

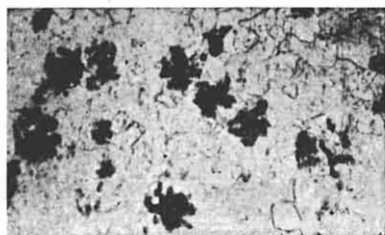
* На фигуре показана твердость по отскоку.

БЕЛЫЙ ЧУГУН



Фиг. В.

КОВКИЙ ЧУГУН

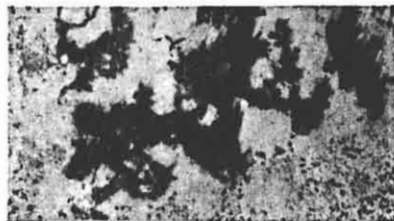


Фиг. Г.

ГРАФИТИЗИРОВАННАЯ СТАЛЬ



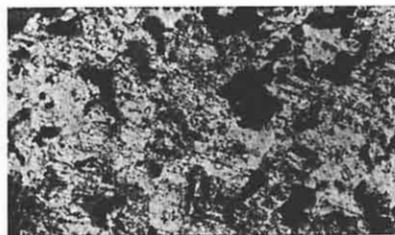
Фиг. Ж.



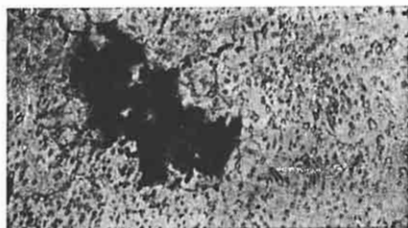
Фиг. Д.



Фиг. З.



Фиг. Е.



Фиг. И.

обеспечивает максимальную твердость белого чугуна.

Особо высокой твердостью $H_B = 800 \div 850$ обладает чугун с содержанием 0,7—1,8% бора.

Влияние содержания фосфора на увеличение твердости связано с образованием в чугуне структуры фосфидной эвтектики, твердость которой $H_B = 400$.

Белый чугун применяется главным образом для работы на износ при очень высоких удельных давлениях и чаще всего без смазки, являясь в этих условиях весьма ценным материалом.

Прямая зависимость между износостойкостью и твердостью отсутствует; твердость не определяет износостойкости, но должна учитываться в совокупности со структурой чугуна.

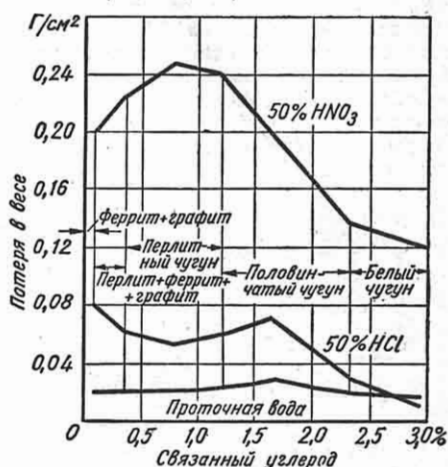
Лучшей износостойкостью обладает белый чугун с тонким строением основной металлической массы, в которой в виде отдельных мелких и равномерно распределенных включений или в виде тонкой сетки расположены карбиды, фосфиды и пр.

Повышенной жаростойкостью обладает белый чугун с высоким содержанием никеля, кремния и хрома.

Антикоррозионные свойства белого чугуна выше, чем серого. Влияние содержания связанного углерода на коррозию чугуна представлено на фиг. 21 [14].

Белый чугун обладает большой коррозионной стойкостью в азотной и соляной кислотах. Коррозия в крепкой серной кислоте возрастает при наличии в чугуне структурно свободных карбидов.

Повышение коррозионной стойкости достигается легированием чугуна элементами с высоким потенциалом (Cu, Ni, Mo) или образующими защитные пленки (Cr, Si, Al).



Фиг. 21.

Резкое повышение коррозионной стойкости [2], [3] наступает (при равновесной структуре) при 1/8, 2/8...n/8 молярных долей легирующего или пассивирующего элемента, т. е. для

| | |
|--------------------|---------------|
| хрома | 11,7—23,4—36% |
| кремния | 6,7—14,4—23% |
| алюминия | 6,4—13,8—22% |
| никеля | 12,8—25,4—38% |

Сорта белого чугуна, имеющие промышленное применение, приведены в табл. 22.

Отливки белого чугуна

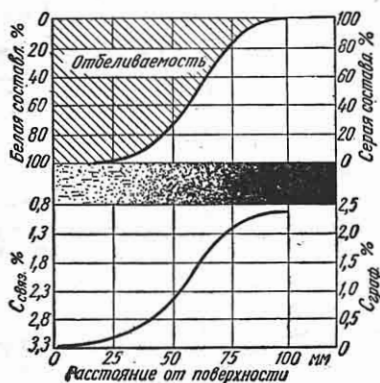
Таблица 22

| Название и основные свойства чугуна | Содержание элементов | | | | | | | | Твердость по Бринеллю в кг/мм ² |
|--------------------------------------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|-------------|-------------|----------------|-------------------|---------|--------------------------------------------|
| | C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | B | |
| Нелегированный износостойкий | 3—4 | 0,6—1,2 | 0,4—1,1 | До 0,8 | До 0,18 | — | — | — | 500—550 |
| Никелевый износостойкий и прочный | 3,5 3 | 0,65—0,7 0,65—0,75 | 0,4—0,5 0,6—0,7 | 0,2 0,2 | 0,1 0,1 | 1,5 2,5 | 0,02—5 0,2—5,2 | — | 460—630 425—550 |
| Бористый износостойкий | 2,5—3,3 | 0,5 | 0,5—1,3 | До 0,05 | До 0,05 | — | 3,5—4,5 | 0,7—1,1 | 800—950 |
| Высокохромистый, износостойкий и теплоустойчивый | 1,2—2 1,2—2 | 1 1 | 0,5 0,5 | До 1 0,1 | 0,05 0,1 | 0,05 0,1 | 3—3,5 22—28 | 0,8—1 | 900 400 450 |
| То же и антикоррозионный | 1,8—3,5 1,8—3,5 | 0,8—1,2 0,8—1,2 | До 0,5 0,5 | 0,1 0,1 | 0,1 0,1 | 20—28 28—34 | — | — | — |
| Высокремнистый кислотоупорный | 0,3—1,4 | 10—18 | 0,35—0,8 | 0,2 | 0,15 | — | — | — | 400—500 |
| Щелочноупорный | 2,8—3,2 | 0,5—2 | 0,5—1 | 1,1 | 0,05 | — | 0,2—0,5 | — | — |

ОТБЕЛЕННЫЙ ЧУГУН

Отливки из отбеленного чугуна состоят из двух основных слоев: твердого износостойкого наружного слоя белого чугуна и вязкого прочного внутреннего слоя серого чугуна. В переходном слое имеется сочетание белой и серой структурных составляющих.

Отбел отливки можно выразить графически кривой распространения количества связанного углерода в толщ отливки (фиг. 22).



Фиг. 22.

Отбеленный слой характеризуется следующими показателями (фиг. 23): α — зоной чистого отбела — расстоянием от поверхности отливки до первых видимых включений графита; β — зоной

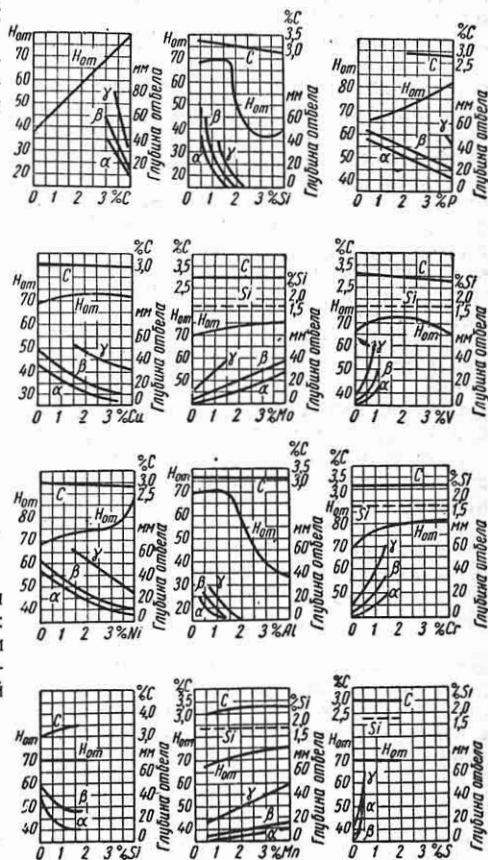


Фиг. 23.

полезного отбела — расстоянием от поверхности отливки до отчетливо выявленной границы серого чугуна; γ — зоной общего отбела — расстоянием от поверхности отливки до последних видимых включений эвтектических карбидов.

Получение отбеленного чугуна основано на факторах, обуславливающих процессы графитизации и влияющих в том же направлении на отбел чугуна.

Влияние элементов на глубину отбела характеризует фиг. 24.



Фиг. 24.

Особое значение имеет кремний, влияние которого на глубину отбела при различном содержании углерода представлено на фиг. 25. При содержании кремния более 1,0% переходный слой практически исчезает.

Технологические факторы, определяющие скорость кристаллизации отливки, также влияют на глубину отбела и твердость чугуна.

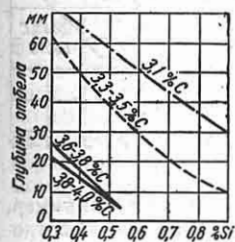
Важнейшее значение имеют составы шихт, уровень перегрева чугуна при плавке, длительность выдержки при заливке, конструкция и температура

кокиля, толщина его стенок и обмазки, размеры отливки, а также условия ее охлаждения и термической обработки.

В прямой зависимости от глубины отбела находится величина линейной усадки отбеленного чугуна. Для валков она характеризуется следующими данными:

| | | |
|---------------------------------------|-------|-----|
| Глубина чистого отбела в мм | 40—50 | 6—7 |
| Усадка в % | 2,7 | 1,0 |

Методом диффузионного поверхностного легирования отливки достигаются образова-



Фиг. 25.

ние поверхностного отбеленного легированного слоя на глубину 8—10 мм. При этом легирование осуществляется при помощи паст, содержащих порошки сплавов (феррохрома, ферромарганца и пр.), наносимых на поверхность отливки или формы.

Получение точной глубины наружного отбела и повышенной прочности остальной массы достигается при двухслойных отливках (валки) применением различного по составу чугуна для получения наружной и внутренней части отливки. Пустотелые отбеленные двухслойные отливки могут производиться и методами центробежного литья.

Свойства отбеленного чугуна

Основные механические свойства отбеленного чугуна приведены в табл. 23.

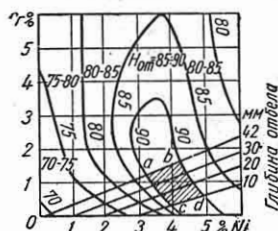
Таблица 23

Основные механические свойства отбеленного чугуна

| Зона отливки | Обычный отбеленный чугун | | Никельхромистый отбеленный чугун | |
|---------------------------------------|-----------------------------|-------|----------------------------------|-------|
| | При содержании углерода в % | | | |
| | 3,5 | 2,75 | 3,5 | 2,75 |
| Отбеленного чугуна $\sigma_{вр}$ | 24—28 | 34—37 | 38—42 | 49—56 |
| H_B | 500 | 400 | 675 | 575 |
| Серого чугуна $\sigma_{вр}$ | 11—17 | 15—27 | 21—24 | 28—35 |

При замене хрома в никельхромистом чугуне бором в количестве 0,7—1,8% твердость отбеленного слоя повышается до $H_B = 800 \div 950$.

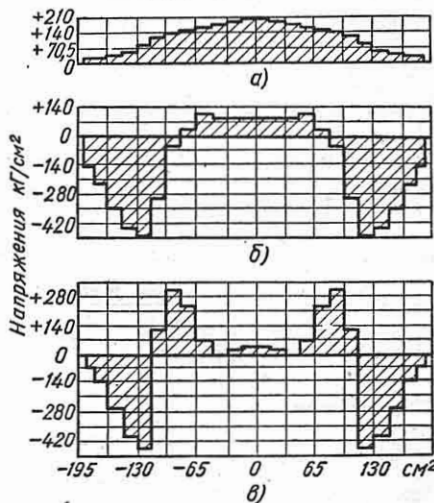
Совместное влияние никеля и хрома на твердость и глубину отбела приведено на диаграмме фиг. 26. Наилучшие ре-



Фиг. 26.

зультаты дают составы, соответствующие площадке abcd.

Распределение внутренних напряжений в отбеленных валках приведено на диаграммах фиг. 27.



Фиг. 27. Распределение напряжений в отбеленных валках: а — радиальные напряжения; б — тангенциальные напряжения; в — продольные напряжения.

Прочность отливок отбеленного чугуна может быть увеличена термической обработкой или непосредственно после заливки при замедленном охлаждении или последующей специальной операцией.

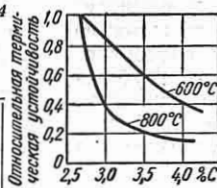
Влияние термической обработки на прочность при изгибе см. табл. 24.

Таблица 24

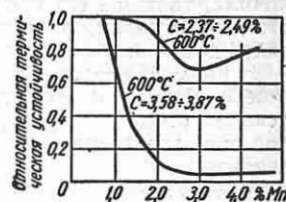
Влияние термической обработки на прочность отбеленного чугуна при изгибе

| Температура нагрева в °С | Время выдержки в час. | Разрушающая нагрузка в кг |
|--------------------------|-----------------------|---------------------------|
| 760 | 2 | 7 636 |
| 760 | 12 | 8 209 |
| 760 | 18 | 9 382 |
| 760 | 24 | 12 063 |
| 780 | 2 | 10 441 |
| 780 | 12 | 13 727 |
| 780 | 24 | 14 163 |

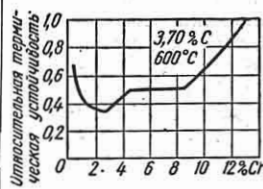
Примечание. Испытанию подвергались образцы размером 37×63×570 мм при расстоянии между опорами 457 мм.



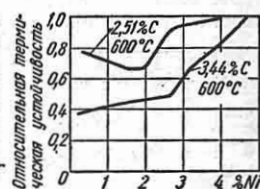
Фиг. 28.



Фиг. 29.



Фиг. 30.

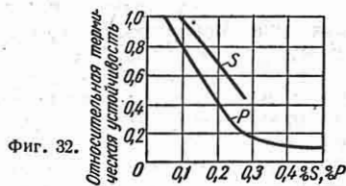


Фиг. 31.

Термическая устойчивость отбеленного чугуна характеризуется сопротивлением чугуна растрескиванию при многократном нагреве и охлаждении. Влияние основных и легирующих элементов на термическую устойчивость отбеленного слоя чугуна представлено в диаграммах на фиг. 28—32. Для увеличения термической устойчивости отбеленного слоя чугуна рекомендуется создание такой структуры, в которой карбидная составляющая расположена изолированными областями в основной металлической массе.

Отбел в отливках контролируется по отбелу технологических проб определен-

ного размера и конфигурации (например, бруски сечением 30 × 40 мм). Соотношение между отбелом пробы и отбелом



Фиг. 32.

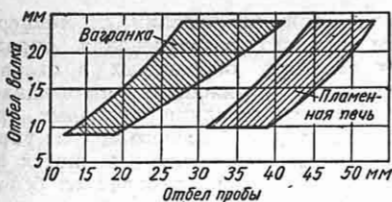
отливки применительно к плавильному агрегату приведено на фиг. 33.

Состав и назначение отбеленного чугуна см. в табл. 25.

Таблица 25

Назначение и состав чугуна для отбеленных отливок

| Назначение отливок | Химический состав в % | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------|----------|----------|-----------|-----------|----------|-------|---------|
| | C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | Mo |
| Гидравлические цилиндры | 3,2 | 0,9 | 1,2 | 0,4 | 0,1 | — | — | — |
| Щеки камнедробилок | 3,4—3,5 | 0,8—0,85 | 0,45—0,5 | 0,4 | 0,1 | 0,45—0,5 | 1—1,1 | — |
| Мелкое машинное литье | 3—3,2 | 1,9—2,2 | 0,6—0,8 | 0,17—0,25 | 0,08—0,12 | — | — | — |
| Вагонные колеса | | | | | | | | |
| Ø 800 мм | 3—3,7 | 0,55—0,7 | 0,5—0,6 | 0,3 | 0,4 | — | — | — |
| То же Ø 500 мм | 3,2 | 1,65 | 0,6—0,7 | 0,2—0,35 | 0,09—0,11 | — | — | — |
| Ø 350 | 3,3 | 1,8 | 0,6—0,7 | 0,2—0,35 | 0,09—0,11 | — | — | — |
| Валки для прокатки листового и кровельного железа и жести | | | | | | | | |
| Валки для обжимного сортового стана | 2,7—3,7 | 0,4—0,7 | 0,2—0,5 | 0,2 | 0,1 | — | — | 0,2—0,4 |
| Валки весьма прочные | 2,7—3,7 | 0,4—0,7 | 0,2—0,5 | 0,2 | 0,1 | 0,8—1,2 | — | 0,4—0,5 |
| То же, но и весьма твердые | 2,6—3,2 | 0,4—1,5 | 0,15—0,6 | 0,2 | 0,1 | 0,5—1,5 | 3—5 | 0,3—0,4 |
| То же для дробильных валцов | 3,2—3,8 | 0,15—1,2 | 0,15—0,6 | 0,2 | 0,1 | 1,2—2,5 | 3,5—5 | — |
| Среднесортные валки | 3,4—3,6 | 0,85—1,1 | 0,45—0,8 | 0,2 | 0,1 | 0,8—3 | 4—6 | — |
| Мелкосортные валки | 2,7—3,7 | 0,4—0,7 | 0,2—0,8 | 0,55 | 0,12 | — | — | — |
| Мельничные валки | 2,7—3,7 | 0,4—0,7 | 0,2—0,6 | 0,55 | 0,12 | — | — | — |
| Мельничные валки | 3,2—3,4 | 0,7—0,9 | 0,4—0,6 | 0,25—0,45 | 0,14 | — | — | — |



Фиг. 33.

КОВКИЙ ЧУГУН

Ковкий чугун получается путем графитизирующего или обезуглероживающего отжига белого чугуна определенного состава по содержанию основных элементов и примесей.

В зависимости от режима термической обработки структура ковкого чугуна может состоять из феррита + углерод отжига (фиг. Г, см. вклейку), перлита или других продуктов распада аустенита (сорбита, троостита, игольчатого троостита, мартенсита и т. д.) + углерод отжига (фиг. Д, см. вклейку). При обезуглероживающем отжиге поверхностный слой отливки имеет структуру феррита, а сердцевина обычно перлит + углерод отжига (фиг. Е, см. вклейку).

Графитизация и обезуглероживание белого чугуна происходят при специальной термической обработке, называемой отжигом.

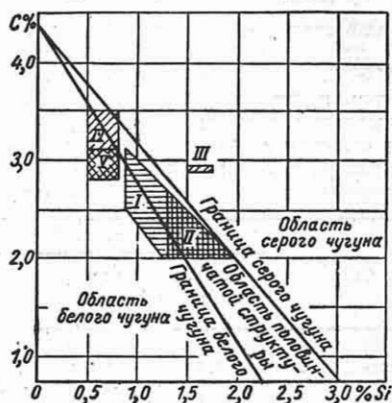
Для получения ферритного и перлитного ковкого чугуна отжиг отливок ведут в нейтральной среде; основным процессом является графитизация, а обезуглероживание имеет ограниченные размеры и происходит попутно.

Для получения обезуглероженного ковкого чугуна отжиг отливок ведут в окислительной среде; основным процессом является обезуглероживание. При этом под поверхностным обезуглероженным слоем со структурой феррита располагается тонкий слой со структурой перлита, за которым уже следует типичная структура ковкого чугуна. При отжиге отливок в защитной атмосфере наружный обезуглероженный и следующий за ним слой со структурой перлита отсутствуют.

В обезуглероженном ковком чугуне содержание углерода повышается в направлении от периферии к центру. Толщина стенок отливок, изготовленных из такого чугуна, обычно не превышает 10—12 мм.

Состав белого чугуна в производстве ковкого определяется прежде всего обязательным отсутствием в сечениях отливки видимых включений пластинчатого графита. Свободный углерод может присутствовать только в виде сфероидальных ультрамикроскопических включений, а основная его часть должна находиться в связанном состоянии в виде цементита и в твердом растворе.

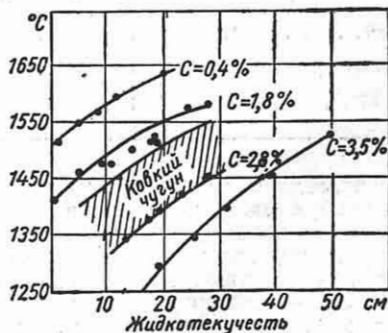
Свойства ферритного ковкого чугуна зависят от содержания углерода и кремния. Рекомендуемое содержание С и Si для различных марок чугуна показаны заштрихованные площади диаграммы (фиг. 34): I — для ферритного и



Фиг. 34.

перлитного ковкого чугуна; II — то же для процесса ускоренной термической обработки; III — то же для тонкостенных отливок и IV — V — для обезуглероженного (белосердечного) чугуна.

Ж и д к текучесть белого чугуна зависит от содержания в нем углерода (фиг. 35). Минимальная толщина

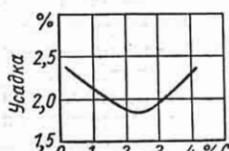


Фиг. 35.

сечений отливок из ковкого чугуна в зависимости от их конфигурации и состава чугуна принимается в пределах 2,5—8 мм.

При проектировании рекомендуется ограничивать размеры сечений в отливках:

при плавке двойным процессом вагранка — электropечь—30—40 мм, при плавке в вагранке — 20—30 мм.



Фиг. 36.

Усадка белого чугуна зависит от содержания в нем углерода (фиг. 36) [2]. В табл. 26 приведены размеры объемной усадки стали, белого и серого чугуна при перегреве расплавленного сплава на 100° С, в табл. 27 — величина линейной усадки в твердом состоянии. Усадка в жидком состоянии и при затвердевании отливки определяет величину усадочных раковин и рыхлот.

Таблица 26

| Сплав | Объемная усадка в % | | |
|-----------------|---------------------|-------------------|---------|
| | в жидком состоянии | при затвердевании | общая |
| Сталь | 1,6 | 3 | 4,6 |
| Белый чугун * | 2—2,3 | 4,6—3 | 6,6—5,3 |
| Серый " | 2,5 | 0,9 | 1,4 |

* В зависимости от содержания углерода.

Таблица 27

| Сплав | Линейная усадка в % | | |
|-----------------|---------------------|-----------|----------------------------|
| | доперлитная | перлитная | полная в твердом состоянии |
| Сталь | 1,2 | 1 | 2,2 |
| Белый чугун . | 0,8 | 1 | 1,8 |
| Серый " | 0 | 1 | 1 |

Затрудненная усадка белого чугуна в периоде охлаждения отливки непосредственно за образованием в интервале затвердевания сплошного скелета тугоплавкой составляющей и ограниченное количество эвтектики при этом определяют повышенную склонность белого чугуна к образованию горячих трещин.

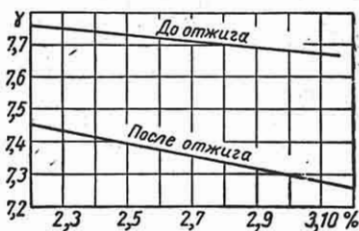
Усадка при охлаждении от температуры полного затвердевания определяет величину образуемых в отливке литейных напряжений, являющихся причиной образования холодных трещин. Вследствие большего модуля упругости и меньшей теплопроводности величина напряжений в отливках белого чугуна значительно выше, чем в отливках серого чугуна, а вследствие меньшей прочности и теплопроводности — больше, чем в стальных отливках. Поэтому при проектировании следует предпочитать конструкции со свободной усадкой и избегать резких переходов между различными сечениями отливки, вызывающих концентрацию напряжений и пониженную усталостную прочность.

Данные по выбору радиусов закруглений при проектировании литых деталей, как и других элементов конструкций литых деталей, см. т. 5, гл. 1.

Остаточные напряжения в отливках из ковкого чугуна вследствие длительной термической обработки значительно меньше, чем в отливках из стали и серого чугуна, и не превышают 0,5 кг/мм².

Газонасыщенность белого чугуна выше, чем серого чугуна, и достигает 45—50 см³ на 100 Г (в сером чугуне 15—20 см³); при определенных условиях возможно образование газовых раковин.

При термической обработке отливка ковкого чугуна увеличивается в объеме в зависимости от содержания углерода (примерно на 50% от величины усадки).



Фиг. 37.

Изменение удельного веса при термической обработке белого чугуна представлено на фиг. 37 [18].

Свойства ковкого чугуна

Сопротивление статическим нагрузкам. Механические свойства ковкого чугуна зависят от свойств основной металлической массы, принимающей на себя почти все силовое поле и связанной

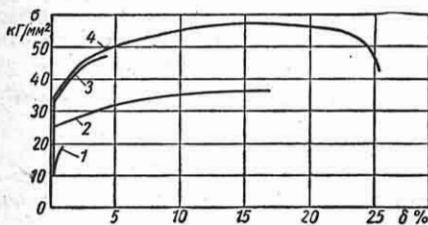
с характером включений графита. Прочность графита очень мала, и площадь его включений обычно исключается при расчетах. Сфероидальные и схожие с ними включения графита в ковком чугуне уменьшают степень искажения силового поля по сравнению с пластинчатым графитом серого чугуна (табл. 28). Поэтому в ковком чугуне нагрузка воспринимается относительно большей площадью поперечного сечения с более равномерным распределением напряжений.

Таблица 28

Влияние включений графита на силовое поле в чугуне [14]

| Показатель | Серый чугун | Ковкий чугун |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|
| Уменьшение площади основной металлической массы | | |
| $\alpha = \frac{\sigma_{ст}}{\sigma_{чуг}}$ | До 3 | 1,15 |
| Надрезывающее действие включений графита $\beta = \frac{\sigma_{ст}}{\alpha \sigma_{вр}}$ | 1,2—2 | 1,15—1,6 |

Главное преимущество ковкого чугуна по сравнению с серым заключается в его пластичности. Диаграммы деформаций при растяжении образцов различных сортов ковкого чугуна (фиг. 38, 1—4) [3] характеризуют его упругие и пластические свойства. Так как область теку-

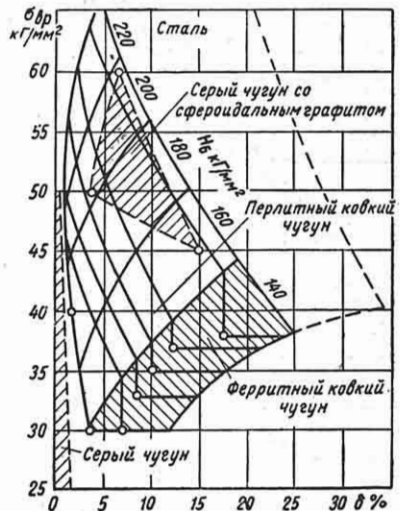


Фиг. 38. 1 — серый чугун; 2 — ФКЧ; 3 — ПКЧ; 4 — сталь (0,35% С).

части незначительна, при испытаниях ковкого чугуна определяют условный предел текучести $\sigma_{0,2}$.

Общая зависимость предела прочности при растяжении $\sigma_{вр}$ от относительного удлинения δ ковкого чугуна различна для его отдельных сортов, как это видно на фиг. 39. На диаграмме,

кроме того, показаны области, характерные для иных сортов чугуна — серого обычного и со сфероидальным графитом, а также для стали. Для ферритного ковкого чугуна увеличение $\sigma_{вр}$

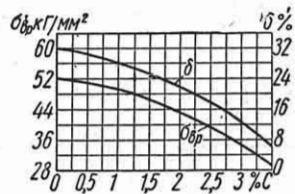


Фиг. 39.

всегда связано с увеличением пластичности. Предел пропорциональности изменяется с изменением величины предела прочности при растяжении; соотношение этих величин

$$\frac{\sigma_{пц}}{\sigma_{вр}} = 0,65 \div 0,75.$$

В соответствии с малой изменемостью структурных составляющих ферритного ковкого чугуна — графита и феррита — механические его свойства могут быть надежно улучшены главным образом снижением содержания углерода (фиг. 40) [15] и практически не зави-



Фиг. 40.

сят от изменений величины включений графита, получаемых в результате термической обработки.

Но изменение величины включений графита, связанное с различием в толщине стенок, влияет на качество чугуна (фиг. 41) [14]. В образцах диаметром 6 мм предел прочности при растяжении достигает иногда величины 55—60 кг/мм². Аналогично изменяются и пластические свойства (δ и ψ); предел текучести изменяется мало.

По ГОСТ 1215-41 ковкий чугун разделяется на чугун первой группы — ферритный (табл. 29) и чугун второй группы — обезуглерожженный (табл. 30).

Таблица 29

Механические свойства ковкого чугуна 1-й группы — ферритного

| Марка чугуна | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | δ в % | H_B не более |
|--------------|---------------------------------------|--------------|-------------------|
| КЧ 37-12 | 37 | 12 | 149 |
| КЧ 35-10 | 35 | 10 | 149 |
| КЧ 33-8 | 33 | 8 | 149 |
| КЧ 30-6 | 30 | 6 | 163 |

Примечание. Для крупных отливок из чугуна марок КЧ 37-12, КЧ 35-10, КЧ 33-8 с толщиной стенок свыше 25 мм с согласия потребителя допускается повышенная твердость до $H_B = 163$.

Таблица 30

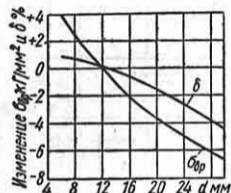
Механические свойства ковкого чугуна 2-й группы — обезуглерожженного

| Марка чугуна | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | δ в % | H_B не более |
|----------------------------------|---------------------------------------|--------------|-------------------|
| Для образцов \varnothing 16 мм | | | |
| КЧ 40-3 | 40 | 3 | 201 |
| КЧ 35-4 | 35 | 4 | 201 |
| КЧ 30-3 | 30 | 3 | 201 |
| Для образцов \varnothing 12 мм | | | |
| КЧ 40-3 | 40 | 4 | 201 |
| КЧ 35-4 | 35 | 5 | 201 |
| КЧ 30-3 | 30 | 4 | 201 |

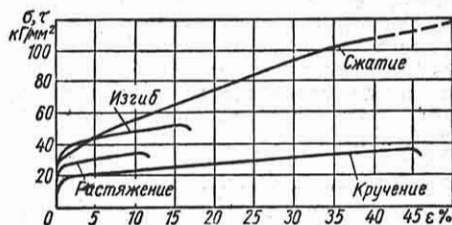
Твердость ковкого ферритного и обезуглерожженного чугуна колеблется, таким образом, в очень узких пределах и характеризует свойства чугуна только одного сорта.

Кривые деформации ковкого ферритного чугуна марки КЧ 35-10 при разных родах нагрузки приведены на

фиг. 42 [3]. Зависимость модуля нормальной упругости ковкого чугуна разных марок от напряжений показана на фиг. 43 [3]. Величина модуля упругости определяется главным образом количеством графита. Модули упругости при



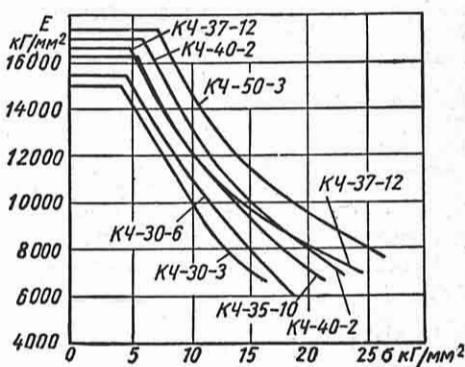
Фиг. 41.



Фиг. 42.

сжатии и изгибе больше, чем при растяжении, приблизительно на 10%. Значение истинного модуля упругости практически не зависит от величины напряжения, но условный модуль упругости понижается при пластической деформации.

Обезуглерожженный ковкий чугун (2,95% C; 0,53% Si; 0,09% Mn) ввиду

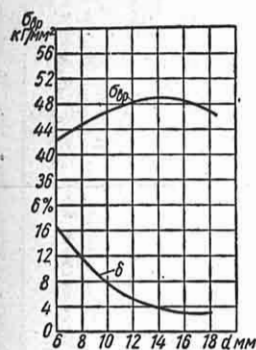


Фиг. 43.

неоднородности структуры резко изменяет свои свойства в зависимости от толщины сечения отливки (фиг. 44) [14]. Поэтому для его испытания применяются контрольные образцы уменьшенного сечения (12 мм).

Перлитный ковкий чугун является одним из самых прочных сортов чугуна, так как в нем высокопрочная основная металлическая масса сочетается с невыгоднейшей структурной формой и распределением графита. По структурному составу и механическим свойствам перлитный ковкий чугун близко под-

ходит к стали (см. вклейку, фиг. Ж). Прочность ($\sigma_{вр}$) перлитного ковкого чугуна и пластичность (δ) находятся в таком же соотношении, как и у стали,



Фиг. 44.

т. е. с увеличением $\sigma_{вр}$ относительное удлинение снижается.

Количество связанного углерода в перлитном ковком чугуне изменяется в пределах 0,3—0,8% в зависимости от температуры нормализации, скорости охлаждения и условий термической

обработки в области эвтектоидных превращений.

Эти факторы определяют и структуру основной металлической массы перлитного ковкого чугуна, которая может меняться от пластинчатого и зернистого перлита до сорбита, мартенсита, а в некоторых случаях и с дисперсными включениями цементита.

Дальнейшее улучшение свойств перлитного ковкого чугуна достигается его легированием и модифицированием.

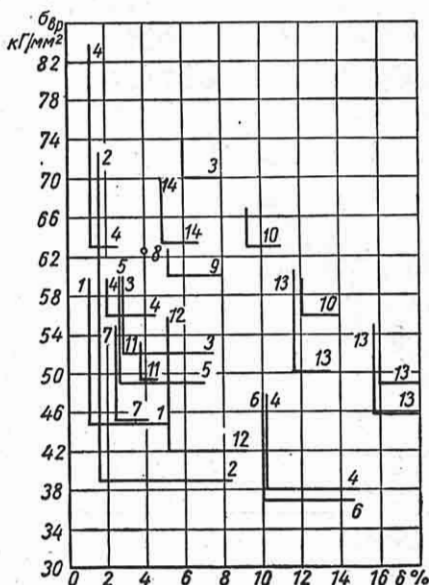
Модифицирование присадками титана до 0,08%, алюминия в пределах 0,15—0,02%, бора 0,002—0,003% — производится в целях повышения дисперсности основной металлической массы и резкого ускорения сфероидизации цементита и перлита. Присадки бора способствуют графитизации чугуна.

Присутствие феррита в структуре перлитного ковкого чугуна ухудшает его свойства, так как влечет за собой резкое снижение прочности ($\sigma_{вр}$) при незначительном увеличении пластичности (δ). Когда основная металлическая масса чугуна становится перлитной, незначительное снижение пластичности при сорбитизации, сфероидизации и пр. приводит к значительному увеличению прочности.

Особое место занимает термически улучшенный ковкий чугун, закаленный и отпущенный, отличающийся высокой однородностью свойств как в отдельных сечениях отливки, так и во всей партии.

Перлитный ковкий чугун является весьма ценным конструкционным ма-

териалом; характеристика его основных видов приведена в табл. 31 и на фиг. 45 [20].



Фиг. 45.

Сопrotивление динамическим нагрузкам. Динамические свойства качественного ферритного ковкого чугуна характеризуются следующими данными [20]. Ударная вязкость при сечении образца 10×10 мм с клиновым вырезом глубиной 2 мм $a_n = 2$ кг/см², при вырезе глубиной 5 мм с радиусом закругления 0,5 мм $a_n = 0,8$ кг/см². Динамическая вязкость (предел выносливости) $\sigma_{-1} = 17$ кг/мм². Отношение предела выносливости к пределу прочности при растяжении $\frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{вр}} = 0,5$.

Ударная вязкость характеризует межкристаллитные связи в чугуне и резко снижается (на 30—50%) при появлении белого, интеркристаллитного излома. Белого излома можно избежать весьма ускоренным или очень замедленным охлаждением после отжига в интервале температур 650—450°С.

Предел выносливости ковкого ферритного чугуна в 1,2—2 раза меньше, чем стали, и в 4—6 раз больше, чем серого чугуна; он зависит от асимметричности нагрузок и повышается при отрицательных величинах средних напряжений. Поэтому отливки, работающие при

Характеристика основных видов перлитного ковкого чугуна

| Вид чугуна | Механические свойства | | | Микроструктура основной металлической массы | Комплексные свойства | Назначение |
|--------------------------------|----------------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| | $\sigma_{0,2}$ в кг/мм ² | δ в % | H_B в кг/мм ² | | | |
| 1 Перлитно-ферритный | 45—67 | 5—1 | 160—220 | Сфероидальный графит с сетчатой феррита в перлитном поле | Повышенная прочность и износостойкость. Антифрикционность при малых удельных давлениях | Фитинги, машиностроительные отливки неответственного назначения, втулки, шестерни |
| 2 Перлитный | 45—63 | 6—3 | 160—240 | То же, но с меньшим количеством феррита и более дисперсная | Прочность от средней до высокой, хорошая сопротивляемость усталости, циклическая вязкость | Взамен поковок из легированных сталей, коленчатые валы, поршни дизельных моторов |
| 3 Перлитный малоуглеродистый | 52—61 | 4,5—3,5 | 220—280 | Сфероидальный графит в перлитном или сорбитном поле | Высокая прочность и циклическая вязкость, антифрикционность и антикоррозионность | Взамен поковок из легированных сталей — коленчатые валы, поршни, тормозные барабаны |
| 4 Перлитный модифицированный | 38—85 | 21—65 | 140—300 | Дисперсный перлит | Повышенная прочность и высокая износостойкость | Отливки ответственного назначения с большой износоустойчивостью |
| 5 Перлитный хромистокремнистый | 49—56 | 28—36 | 180—200 | | | |
| 6 Перлитный закаленный | 49—60 | 35 | 14—10 | Цементит по границам зерен феррита | Повышенная прочность и износостойкость | Звенья цепей |
| 7 Перлитный нормализованный | 51—69 | — | 5—2,5 | 170—225 | | |

| | | | | | | | | |
|----|---------------------------------------------------|-------|-------|---------|---------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 8 | Перлитный высококремнистый | 63 | 49 | 4 | 235 | Перлит или сорбит | Повышенная прочность и износостойкость | Отливки ответственного назначения с большой износостойкостью, жаростойкие отливки |
| 9 | Перлитный хромоникелевый | 49—63 | 35—49 | 15—5 | 180—250 | Сорбит | | |
| 10 | Сфероидизированный перлитный | 50—70 | 35—49 | 13—6 | 180—220 | Сфероидизированный перлит и цементит | Высокие прочность, вязкость, антикоррозионность и кислотостойкость | Взамен поковок из легированных сталей и цветных антифрикционных сплавов |
| 11 | Перлитный ванадиевый | 49—52 | 41—44 | 4,5—3,5 | 210 | Сфероидизированный цементит и перлит | | |
| 12 | Перлитный медистомарганцовистый | 42—56 | 31—42 | 9—5 | 190—220 | | Повышенные антифрикционные свойства | Взамен цветных антифрикционных сплавов в узлах трения |
| 13 | Сфероидизированный перлитный титаномарганцовистый | 50—60 | — | 8—12 | 150—170 | Сфероидизированный перлит | | |
| 14 | Сфероидизированный перлитный титаномарганцовистый | 60—70 | — | 5—8 | 190—220 | Сфероидизированный перлит и цементит | Высокая прочность и износостойкость | Высоконагруженные детали машин и в узлах трения взамен цветных сплавов |
| | | | | | | | | |

повторно-переменных растягивающе-сжимающих усилиях, следует подвергнуть предварительному сжатию без растягивающих напряжений при периодических нагрузках.

Предел выносливости ферритного ковкого чугуна равен 15—20 кг/мм^2 , обезуглероженного 12—16 кг/мм^2 и специальных малоуглеродистых легированных перлитных ковких чугунов 30—35 кг/мм^2 .

Состояние поверхности ковкого чугуна оказывает меньшее влияние на величину предела выносливости, чем у стали. Удаление поверхностного слоя ферритного чугуна повышает динамическую вязкость на 15—25% (табл. 32).

Таблица 32 [3]

Относительное влияние механической обработки на свойства ковкого чугуна

| Состояние поверхности | Статические свойства | | Динамические свойства | |
|--------------------------|----------------------|----------|-----------------------|---------------|
| | $\sigma_{\text{вр}}$ | δ | a_n | σ_{-1} |
| Литая | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Механически обработанная | 0,95 | 0,9 | 0,75 | 1,3 |

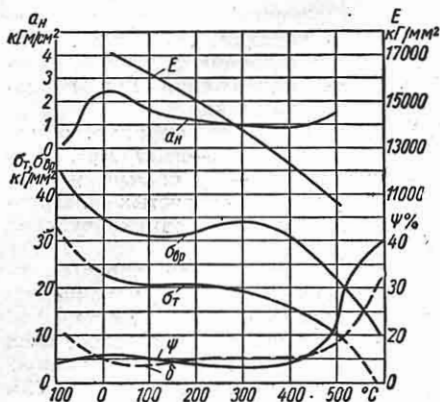
Коэффициенты усталостной прочности для железоуглеродистых сплавов при различных видах нагрузок даны в табл. 33 [3].

Таблица 33

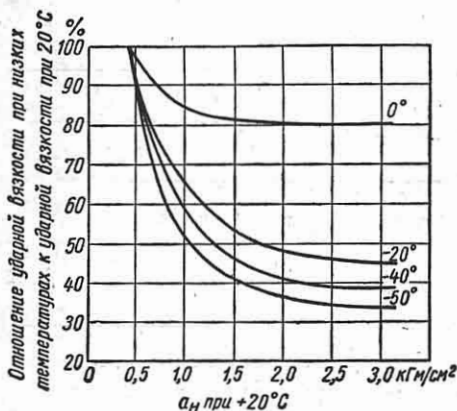
| Напряжения | Сталь | Ковкий чугун | Серый чугун |
|----------------|-------|--------------|-------------|
| σ_{-1} | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| σ_{-1p} | 0,70 | 0,60 | 0,50 |
| τ_{-1k} | 0,58 | 0,70 | 0,80 |

Примечание. Ковкий чугун превосходит сталь при кручении и серый чугун при растяжении — сжатии.

Влияние температуры на характеристики прочности ковкого чугуна приведено на фиг. 46, а относительное изменение ударной вязкости при пониженных температурах — на фиг. 47.



Фиг. 46.



Фиг. 47.

Технологические свойства. Обработка вала ковкого чугуна зависит от структуры основной металлической массы и от включений графита. Наличие промежуточного перлитного слоя под наружной ферритной оболочкой определяет толщину первой стружки в 1,5—2,0 мм.

Обработываемость ферритного ковкого чугуна весьма высока. Включения графита оказывают смазывающее действие и дробят стружку.

Обработываемость обезуглероженного чугуна уступает обработываемости ферритного, но чистота обработанной поверхности улучшается, что имеет существенное значение при нарезании резьб.

Обработываемость перлитного ковкого чугуна также уступает обработываемости ферритного и определяется степенью однородности и дисперсности

структуры основной металлической массы. Так, обрабатываемость чугуна со сфероидизированной структурой перлита и даже цементита вполне удовлетворительна, несмотря на повышенную твердость.

Износостойкость и антифрикционные свойства ковкого чугуна определяются структурой, условиями трения и величиной зазоров. Наиболее благоприятной структурой обладает перлитный ковкий чугун, особенно при отсутствии изолированных включений графита, окруженных ферритной оторочкой.

Коэффициент трения перлитного ковкого чугуна равен при жидкостном трении 0,05—0,10 и при сухом 0,30—0,45.

Втулки из этого чугуна работают на металлорежущем оборудовании при $pv = 50$, на металлодавящем оборудовании при $pv = 120$, на тракторах при $pv = 160$ кг/см² сек.

Зазоры между валом и втулками по сравнению с бронзовыми увеличиваются на 10—15%.

Ферритный ковкий чугун применяется при малых давлениях ($p \leq 20$ кг/м/см²сек),

Фиг. 48. Характеристика антикоррозионных свойств графитизированного чугуна: 1 — ферритный; 2 — ферритный нормализованный; 3 — перлитный; 4 — медистый (0,75% меди); 5 — то же нормализованный; 6 — медистый (0,95% меди); 7 — то же нормализованный; 8 — медистый (1,44% меди); 9 — то же нормализованный; 10 — медистомарганцовистый (0,82% меди, 1,17% марганца).



особенно при малых скоростях и работе со смазкой.

Антикоррозионные свойства ковкого чугуна характеризуются фиг. 48 [20] и определяются однофазной структурой его обезуглероженной поверхности, покрывающейся окислами.

Обработанные поверхности ферритного чугуна корродируют быстрее, чем перлитного чугуна и стали. Стойкость поверхности ковкого чугуна повышается применением диффузионных покрытий: фосфатированием, бесщелочным оксидированием, пассивированием и пр.

При контактной коррозии ковкий чугун обнаруживает пониженный, положительный электродный потенциал.

Ковкий чугун, особенно ферритный, хорошо поддается запрессовке, раскванке и легко заполняет зазоры.

Прочность запрессовки втулок из ковкого чугуна при одном и том же натяге выше по сравнению с латунными на 50%.

Механические и физические свойства ковкого чугуна [3] В табл. 34 приведены основные характеристики

Таблица 34

Основные характеристики ковкого чугуна по маркам [3]

| Наименование свойства | Обозначение | Размерность | Марки чугуна | | | | | | |
|---------------------------------------------|-----------------------|----------------------|--------------|---------|---------|----------|----------|-----------|-----------|
| | | | КЧ 30-3 | КЧ 30-6 | КЧ 33-8 | КЧ 35-10 | КЧ 37-12 | ПФКЧ 40-2 | ПФКЧ 50-3 |
| <i>Растяжение</i> | | | | | | | | | |
| Предел текучести | $\sigma_{0,2}$ | кг/мм ² | 20,0 | 19,0 | 21,0 | 22,0 | 23,0 | 24,0 | 27,0 |
| " прочности | $\sigma_{вр}$ | " | 28,5 | 28,5 | 31,0 | 33,2 | 35,0 | 38,0 | 47,0 |
| Относительное удлинение . . . | δ | % | 2,7 | 5,4 | 7,2 | 9,0 | 10,8 | 1,8 | 2,7 |
| Относительное сужение | ψ | % | 3,5 | 7,0 | 9,0 | 11,0 | 13,0 | 2,5 | 3,5 |
| <i>Кручение</i> | | | | | | | | | |
| Предел текучести | $\tau_{0,4}$ | кг/мм ² | 14,0 | 13,0 | 14,5 | 15,0 | 16,0 | 17,0 | 19,0 |
| " прочности | $\tau_{в}$ | " | 34,0 | 34,0 | 34,5 | 35,0 | 37,0 | 45,0 | 52,0 |
| Относительный угол закручивания | $\frac{\varphi_r}{l}$ | — | 14,0 | 18,0 | 20,0 | 23,0 | 25,0 | 6,0 | 8,0 |
| <i>Сжатие</i> | | | | | | | | | |
| Предел текучести | $\sigma_{0,2сж}$ | кг/мм ² | 22,0 | 21,0 | 23,0 | 24,0 | 25,0 | 26,5 | 30,0 |
| <i>Изгиб</i> | | | | | | | | | |
| Предел текучести | $\sigma_{0,2и}$ | " | 33,0 | 31,0 | 33,0 | 34,0 | 35,0 | 38,0 | 42,0 |
| " прочности | $\sigma_{ви}$ | " | 49,0 | 49,0 | 53,0 | 57,0 | 58,0 | 61,0 | 72,0 |
| Предел прочности | $\tau_{вср}$ | " | 28,0 | 27,0 | 29,0 | 30,0 | 30,0 | 32,0 | 36,0 |
| Удельная ударная вязкость | | | | | | | | | |
| После отжига . . . | a_H | кг/м·см ² | 0,8 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,6 | 0,5 | 0,8 |
| " флектопроцесса | a_H | " | 1,2 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 0,8 | 1,2 |
| Предел выносливости при изгибе | σ_{-1} | кг/мм ² | 12,0 | 12,0 | 13,0 | 14,0 | 14,0 | 15,0 | 18,0 |
| Предел выносливости при растяжении — сжатии | $\sigma_{-1р}$ | " | 7,0 | 7,0 | 8,0 | 8,0 | 8,0 | 9,0 | 11,0 |
| Предел выносливости при кручении | τ_{-1} | " | 11,0 | 11,0 | 12,0 | 13,0 | 13,0 | 14,0 | 16,0 |
| Твердость | H_B | " | 163 | 163 | 156 | 149 | 149 | 163—229 | 163—229 |
| Модуль нормальной упругости | E | " | 15 000 | 15 500 | 16 000 | 16 600 | 17 000 | 16 300 | 17 400 |
| Модуль сдвига | G | " | 6 200 | 6 300 | 6 400 | 6 500 | 6 100 | 6 600 | 6 800 |
| Коэффициент Пуассона | μ | " | 0,23 | 0,23 | 0,25 | 0,27 | 0,25 | 0,23 | 0,28 |
| Удельный вес | γ | г/см ³ | 7,20 | 7,20 | 7,21 | 7,22 | 7,24 | 7,25 | 7,30 |








| Наименование свойства | Обозначение | Размерность | Марки чугуна | | | | | | |
|--------------------------------------------|-----------------------------|----------------------|--------------|---------|---------|----------|----------|-----------|-----------|
| | | | КЧ 30-3 | КЧ 30-6 | КЧ 33-8 | КЧ 35-10 | КЧ 37-12 | ПФКЧ 40-2 | ПФКЧ 50-3 |
| Коэффициент линейного расширения | $\alpha_{0-100} \cdot 10^6$ | см/см·град | 10,8 | 10,5 | 10,3 | 10,2 | 10,0 | 10,3 | 10,0 |
| Теплопроводность | λ | кал/смсек·°С | 0,140 | 0,150 | 0,150 | 0,150 | 0,150 | 0,120 | 0,120 |
| Теплоемкость | c | кал/Г·°С | 0,123 | 0,122 | 0,122 | 0,122 | 0,122 | 0,126 | 0,125 |
| Электросопротивление | ρ | мком/см ² | 30,0 | 33,0 | 35,0 | 36,0 | 38,0 | 40,0 | 45,0 |
| Магнитная индукция | B_{25} | гс | 11 000 | 11 500 | 12 000 | 12 000 | 12 300 | 8 000 | 8 000 |
| | B_{50} | " | 12 500 | 13 000 | 13 500 | 13 500 | 13 800 | 10 000 | 10 000 |
| | B_{100} | " | 14 000 | 14 200 | 14 500 | 14 600 | 14 600 | 12 000 | 12 000 |
| | B_T | " | 5 500 | 5 500 | 5 500 | 5 500 | 5 500 | 7 000 | 7 000 |
| Остаточная коэрцитивная сила | H_c | а/см | 2,0—5,0 | 1,5—4,0 | 1,3—4,0 | 1,3—4,0 | 1,3—3,0 | 6—11 | 6—11 |
| <i>Химический состав</i> | | | | | | | | | |
| Углерод | C | % | 2,8—3,0 | 2,7—2,9 | 2,5—2,8 | 2,3—2,6 | 2,2—2,5 | 2,7—2,9 | 2,3—2,6 |
| Марганец | Mn | " | 0,3—0,6 | 0,3—0,6 | 0,3—0,6 | 0,3—0,5 | 0,3—0,5 | 0,4—1,0 | 0,3—1,0 |
| Кремний | Si | " | 0,8—1,1 | 0,8—1,1 | 0,9—1,2 | 1,1—1,3 | 1,2—1,4 | 0,8—1,1 | 1,1—1,3 |
| Сера | S | " | 0,18 | 0,18 | 0,18 | 0,12 | 0,12 | 0,18 | 0,12 |
| Фосфор | P | " | 0,20 | 0,2 | 0,20 | 0,12 | 0,12 | 0,20 | 0,20 |
| Хром | Cr | " | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,10 | 0,10 |
| <i>Критические точки в °С</i> | A_{c1} | °С | 780 | 785 | 785 | 685 | 790 | 775 | 780 |
| | A_{c2} | " | 810 | 815 | 815 | 815 | 820 | 810 | 815 |
| | A_{r1} | " | 710 | 720 | 720 | 725 | 730 | 700 | 715 |
| | A_{r2} | " | 740 | 760 | 760 | 760 | 765 | 735 | 750 |

Поправочные коэффициенты к основным характеристикам ковкого чугуна.

1) Коэффициенты литой поверхности K_n для всех марок ковкого чугуна

| | | | |
|------------|----------|------------|---------------|
| σ_T | δ | α_n | σ_{-1} |
| 1,05 | 1,1 | 1,3 | 0,75 |

2) Коэффициенты формы K_{ϕ} (для σ_{Tn}) для всех марок ковкого чугуна

| | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |  |  |  |  |
| 1,0 | 0,85 | 1,2 | 1,12 | 0,84 | 1,0 | 1,05 |

3) Физические константы для всех марок ковкого чугуна

| | | | |
|----------|---------|-----------|---------|
| α | C | λ | . |
| 0—100 | | | |
| +0,0007 | +0,0005 | -0,00024 | +0,0025 |

4) Температурные коэффициенты K_t (для σ_T)

| | | | | | | | |
|--------------------|---------|---------|---------|----------|----------|-----------|-----------|
| $t^\circ \text{С}$ | КЧ 30-3 | КЧ 30-6 | КЧ 33-8 | КЧ 35-10 | КЧ 37-12 | ПФКЧ 40-2 | ПФКЧ 50-3 |
| 20—100 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 300 | 0,83 | 0,90 | 0,93 | 0,96 | 0,98 | 0,83 | 0,96 |
| 500 | 0,61 | 0,70 | 0,74 | 0,78 | 0,85 | 0,61 | 0,78 |

ковкого чугуна применительно к следующим исходным условиям:

толщина стенок 16 мм;
поверхность обработанная; форма сечения при изгибе прямоугольная, при прочих нагрузках любая;
рабочая температура 20° С.

В условиях, отличных от перечисленных, значения характеристик получают умножением данных табл. 29 и 30 на коэффициенты массы (K_M) [3], поверхности (K_n), формы (K_{ϕ}) и температуры (K_T), причем влияние температур учитывается только в условиях их отрицательного действия. Поправочный коэффициент для усталостных характеристик учитывает только характер поверхности.

Нормы прочности приведены для обработанных разрывных образцов.

Поправочные коэффициенты приведены в табл. 34.

В табл. 35 приведены примеры применения ковкого чугуна.

Упругие свойства ковкого чугуна определяются из основных данных таблиц — модулями нормальной упругости (E) и сдвига (G) и коэффициентом Пуассона (μ). Величины же пластических деформаций и условного модуля упругости находятся по соответствующим графам таблицы. При этом учитывается, что при многократных повторных нагрузках пластические деформации уменьшаются и остаются почти одни упругие деформации.

Таблица 35

Примеры применения ковкого чугуна в различных отраслях промышленности

| Отрасль машиностроения | Детали | Условия работы | Рекомендуемые марки чугуна |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Сельскохозяйственное машиностроение | Шестерни, звенья цепей, собачки, пальцы, ключи, гребки, головки ножей и т. д. | Статические и динамические нагрузки | КЧ 30-3 КЧ 30-6 |
| Текстильное машиностроение | Банкаброши, желоньеры и т. д. | То же | КЧ 30-3 КЧ 30-6 |
| Автомобильная и тракторная промышленность | Картеры—заднего моста, дифференциала, руля, ступицы колес, кронштейны двигателя, рессор, тормоза, тормозные колодки, педали, накладки, пробки, балансиры, катки, втулки | Сложные переменные динамические нагрузки Износ | КЧ 35-10 КЧ 30-3 КЧ 30-6 и ПФКЧ 40-2 |
| Вагоностроение | Детали тормозов, подшипники, кронштейны, тяговые сцепления, скобы и т. д. | Внутреннее давление, ударные нагрузки | КЧ 35-10 КЧ 30-3 |
| Судостроение | Иллюминаторы, кронштейны и т. д. | Изгиб, ударные нагрузки | КЧ 35-10 КЧ 30-3 |
| Станкостроение | Втулки | Износ | ПФКЧ 40-2 ПФКЧ 50-3 |
| Санитарное строительство, водо-, газо- и паропроводная арматура | Фитинги, вентили, радиаторные nipples, пневматические корпуса и т. д. | Внутреннее давление до 20 ат | КЧ 30-3 КЧ 30-6 |

Поправочный коэффициент для устойчивых характеристик учитывает только характер поверхности. По влиянию массы, формы сечения и температуры проверенные данные отсутствуют.

Физические свойства определяются из таблицы с поправками на температуру (K_t). Например, коэффициент линейного расширения в интервале до 500°C определяется

$$\begin{aligned} \alpha_0^{500} &= \alpha_0^{100} [1 + K_t (T - 100)] = \\ &= 10,8 \cdot 10^{-6} [1 + 0,00072 (500 - 100)] = \\ &= 14 \cdot 10^{-6}. \end{aligned}$$

Данные таблиц являются минимальными для ковкого чугуна каждой марки, гарантийными, и могут быть использованы для расчета деталей.

Общий объем применения ковкого чугуна в машиностроении относительно невелик и составляет около 3% от применяемых отливок из железоуглеродистых сплавов. Главной причиной этого являются технологические затруднения в процессе производства отливок, необходимость применения длительной термической обработки и ограниченная величина допускаемых размеров сечений отливок, сложность операций поверхностного упрочнения и операций сварки.

ГРАФИТИЗИРОВАННАЯ СТАЛЬ

Графитизированной сталью называется углеродистая или легированная сталь, в которой часть углерода находится в виде сферидальных или агрегатных включений графита [6], [7], [17], [19].

Полная графитизация стали возможна при содержании в ней углерода от 0,10% и выше, но практическое применение имеет сталь, содержащая 0,65—1,70% углерода.

Графитизированная сталь обладает высокой прочностью и вязкостью, способностью к поглощению выбравий (циклической вязкостью) и износостойкостью.

Графитизированная сталь в нагретом состоянии хорошо куется, штампуется и прокатывается. Она применяется как в литом виде, так и в виде сортовых заготовок.

Основным условием получения заготовок и отливок из графитизированной стали является отсутствие в первичной структуре пластинчатого графита (фиг. Ж, см. вклейку); количество

углерода в виде графитовых включений не должно превышать 0,4—0,5%. Характеристика графитизированной стали в исходном состоянии приведена в табл. 36.

Прокат стали и горячая ковка заготовок и проката, особенно мелких профилей (до 30 мм в диаметре), производятся с минимальным временем нагрева во избежание попутной графитизации и, как результата, расслоений и трещин.

Сталь графитизируется при термической обработке, технология которой определяется назначением стали и содержанием основных и легирующих элементов. Структура основной металлической массы графитизированной стали состоит из перлита и феррита в различных количественных соотношениях и с различной степенью дисперсности (фиг. 3, см. вклейку).

Однородность и специальные свойства достигаются термической обработкой графитизированной стали — нормализацией и закалкой. Их назначением является обратное растворение графита в основной металлической массе и в результате возрастание твердости. Изменением условий закалки и отпуска достигаются заданная величина твердости и наиболее благоприятная форма структурных составляющих (фиг. И, см. вклейку). Для графитизированной стали применима и термохимическая обработка.

Химический состав. Особенностью состава графитизированной стали является повышенное (около 1%) содержание кремния, что в присутствии 1,0—1,7% углерода обеспечивает ее графитизацию при термической обработке.

Применяется присадка легирующих элементов — меди, хрома, молибдена и др. Медь и молибден улучшают литейные свойства стали, уменьшают размеры зерна и обеспечивают однородную структуру по сечению отливок. Присадка хрома повышает содержание карбидов в твердом растворе, повышает износостойкость и предотвращает попутную графитизацию стали при ее горячей ковке, штамповке и прокатке. Модифицирование стали присадками бора, титана, циркония повышает дисперсность структуры и механические свойства стали.

Применяемые составы графитизированной стали приведены в табл. 37 и 38.

Таблица 36

Характеристика графитизированной стали в исходном состоянии [7]

| Метод отливки | Содержание свободного углерода в % ₀ | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | H_B в кг/мм ² | Микроструктура |
|---------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------|
| В песчаную форму | 0,08 | 78,4 | 320—340 | Мелкопластинчатый перлит, сетка цементита |
| В металлическую форму | 0,03 | 95,0 | 330—350 | Пластинчатый перлит, цементит |

Таблица 37

Состав литой графитизированной стали [6], [17], [19]

| № сплава | Марка стали или ее назначение | Содержание элементов в % ₀ | | | | | | | | |
|----------|------------------------------------------|---------------------------------------|--------------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|--------------|-----------|
| | | C | Si | Mn | P не более | S не более | Cr | Ni | Cu | W |
| 1 | ЭИ293 * | 1,50—1,65 | 0,70—0,95 | 0,15—0,40 | 0,03 | 0,025 | ≤0,08 | ≤0,5 | — | — |
| 2 | ЭИ336 | 1,40—1,50 | 0,95 | 0,40 | 0,08 | 0,025 | ≤0,08 | ≤0,20 | — | 0,40—0,60 |
| 3 | ЭИ366 ** | 1,30—1,45 | 1,0—1,25 | 0,3—0,5 | 0,03 | 0,025 | ≤0,08 | ≤0,20 | — | — |
| 4 | Сталь для фасонного литья [9] | 0,9—1,4 | 0,8—1,5 | 0,3—0,6 | 0,07 | 0,07 | ≤0,1 | — | Не более 0,2 | — |
| 5 | Сталь для коленчатых валов | 1,35—1,60 | 0,85—1,10 | 0,60—0,80 | 0,08 | 0,06 | 0,40—0,50 | — | 1,5—2,0 | — |
| 6 | Сталь для тормозных барабанов *** | 1,40—1,60 | 0,9—1,10 | 0,70—0,9 | 0,1 | 0,06 | 0,40—0,50 | — | 1,5—2,0 | — |
| 7 | Сталь для поршней | 1,35—1,70 | 0,9—1,30 | 0,60—1,0 | 0,1 | 0,08 | 0,08—0,15 | — | 2,5—3,0 | — |
| 8 | Сталь для седла клапанов | 1,20—1,40 | 0,3—0,6 | 0,3—0,5 | 0,1 | 0,08 | 2,5—3,5 | — | 1,5—2,0 | 14,0—17,0 |
| 9 | У12 | 1,0—1,1 | 0,35 | 0,15—0,23 | 0,03 | 0,025 | — | — | — | — |
| 10 | Сталь для клапанов | 0,95—1,20 | 0,9—1,1 | 0,2—0,3 | 0,1 | 0,08 | 15,0—16,0 | 14,0—15,0 | — | — |
| 11 | ЭВ1 | 0,68—0,75 | 0,35 | 0,35 | 0,03 | 0,025 | 0,4—0,6 | ≤0,20 | — | 5,5—6,3 |
| 12 | Сталь для шестерен и цементуемых деталей | 0,28—0,35 | 0,4 не более | 0,3—0,45 | 0,05 | 0,05 | 0,9—1,2 | — | 0,5—1,5 | — |
| 13 | Сталь для шатунов и полуосей | 0,35—0,45 | 0,4 не более | 0,7—0,9 | 0,1 | 0,08 | — | — | 0,5—1,5 | — |
| 14 | 5ХВС | 0,46—0,58 | 0,45—0,5 | 0,20—0,40 | 0,03 | 0,025 | 1,10—1,40 | ≤0,20 | — | 2,2—2,7 |

* Хром специально не вводится. ** Титана 0,2—0,4%₀. *** Молибдена 0,1—0,2.

Состав графитизированной стали для литых слитков [6]

Таблица 38

| № сплава | Сорт графитизированной стали | Содержание элементов в % | | | | | | | | Особое назначение стали |
|----------|------------------------------|--------------------------|-----------|-----------|------------|------------|------|------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | C | Si | Mn | P не более | S не более | Cr | Ni | Mo | |
| 1 | Кремнистая * | 1,5 | 0,85—0,95 | 0,4 | 0,025 | 0,025 | — | — | — | Обжимные валки Обрезные и профильные пуансоны, шаблоны, контрольные скобы |
| 2 | Молибденовая | 1,5 | 0,75—0,85 | 0,4 | 0,025 | 0,025 | — | — | 0,25 | |
| 3 | Вольфрамовая | 1,5 | 0,65 | 0,4 | 0,025 | 0,025 | — | — | 0,50 | Инструмент для холодной штамповки, калибровки прутков и труб, глубокой вытяжки |
| 4 | Алюминиевая | 1,5 | 0,15—0,25 | 0,3 | 0,025 | 0,025 | — | — | — | Оправки для холодной протяжки и обжимки труб при ударных нагрузках |
| 5 | Хромоникель-молибденовая | 1,5 | 1,25 | 1,25 | 0,02 | 0,02 | 0,35 | 1,75 | 0,50 | Детали и инструмент неравномерного сечения, например для обжима труб, для горячей штамповки |
| 6 | Титанованадиевая с бором ** | 1,20—1,25 | 0,9—1,25 | 0,20—0,40 | 0,025 | 0,025 | 0,08 | — | — | Высоконагруженные детали машин, при закалке которых необходима высокая прокаливаемость стали |

* 0,12—0,20% W; 2,80% Al.
** 0,05—0,10% Ti; 0,03—0,06% V; 0,006—0,012% B.

Литейные свойства. Жидкотекучесть графитизированной стали, определенная по U-образной пробе А. М. Самарина и Ю. А. Нехендзи, представлена на диаграмме (фиг. 49) в зависимости от температуры заливки и скорости охлаждения металла в форме — песчаной или металлической.

Показатели жидкотекучести имеют промежуточную величину между показателями жидкотекучести углеродистой стали и серого чугуна, особенно при допускаемой высокой температуре перегрева, что позволяет изготовлять тонкостенные отливки: поршни автомобильных

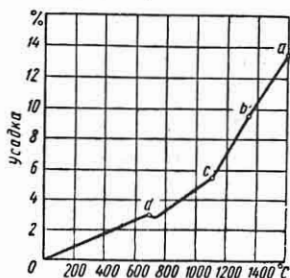


Фиг. 49.

двигателей, поршневые кольца, сепараторы подшипников и пр.

Усадка графитизированной стали характеризуется диаграммой (фиг. 50). Она значительно ниже усадки стали и близка к усадке белого чугуна. Объем усадоч-

ных раковин зависит от состава стали и колеблется в пределах 4,2—5,2%.



Фиг. 50. Усадка графитизированной стали: участок *ab* — в жидком состоянии (1,75—1,95% на 100°С); участок *bc* — в процессе затвердевания (4—4,8%); участок *cd* — доперлитная (объемная 2,4%, линейная 0,8%); участок *od* — послеперлитная (объемная 3%, линейная 1%).

Физико-механические свойства. Механические свойства графитизированной стали зависят от условий термической обработки. На фиг. 51 дана диаграмма изменений твердости стали в зависимости от температуры отпуска.

Для приведенных в табл. 37 составов графитизированной стали значения свойств в табл. 39 и 40 относятся к оптимальным режимам термической обработки.

Механические свойства отливок из графитизированной стали

Таблица 39

| № сплава | Назначение сплава | Механические свойства | | | | Режим термической обработки |
|----------|----------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | $\sigma_{ДЦ}$ в кг/мм ² | $\sigma_{ВР}$ в кг/мм ² | δ в % | H_B в кг/мм ² | |
| 1 | Для коленчатых валов | 66,84 | 84,54 | 6,5 | 255 | Нагрев до 900° С, выдержка 30 мин., охлаждение на воздухе до 600° С Нагрев до 760° С, выдержка 1 час, охлаждение с печью до 550° С |
| 2 | Для поршней | 59,76 | 73,62 | 7,5 | 229 | |
| 3 | Для шестерен и цементуемых деталей | 39,7 | 54,85 | 16,5 | 170 | |
| 4 | Для шатунов, полусей | 45,78 | 63,8 | 15,2 | 187 | |
| 5 | То же закаленная | 76,03 | 90,4 | 10,0 | 277 | |

Механические свойства поковок из графитизированных сталей [6]

Таблица 40

| № сплава из табл. 39 | Режим термической обработки | Механические свойства | | | | | Содержание свободного углерода в % |
|----------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------|------------|-------------------------------|------------------------------------|
| | | σ_T в кг/мм ² | $\sigma_{ВР}$ в кг/мм ² | δ в % | ψ в % | H_B в кг/мм ² | |
| 1 | Отжиг | 39,4 | 68,6 | 25,5 | 47,5 | 171 | 0,7 |
| | Нормализация с 870° С | 61,5 | 115,15 | 11,5 | 18,5 | 302 | — |
| | Закалка в воде с 815° С и отпуск при 480° С | 111,1 | 136,4 | 8,5 | 18,0 | 401 | — |
| | То же, но отпуск при 600° С | 84,7 | 100,2 | 15,5 | 29,6 | 285 | — |
| 2, 3 * | Отжиг | 34,8 | 59,4 | 25,0 | 40,1 | 197 | 0,3—0,5 |
| | Закалка в масле с 800° С и отпуск при 480° С | 124,44 | 153,3 | 8,5 | 14,0 | 388 | |
| | То же, но отпуск при 600° С | 95,62 | 115,3 | 13,0 | 23,0 | 302 | |
| 4 | Отжиг | 37,3 | 78,8 | 15,5 | 26,5 | 212 | 0,3 |
| 5 | Отжиг | 54,5 | 94,9 | 17,0 | 34,0 | 262 | 1,0 |

* Свойства для сплава 3 несколько выше.

Механические свойства образцов графитизированной стали марок ЭИ293 и ЭИ366 даны в табл. 41.

Технологические свойства. Графитизированная сталь обладает высоким сопротивлением износу (см. табл. 42—44) и пригодна для замены бронз в узлах трения, скольжения и для деталей, работающих в условиях ударных нагрузок, — тонкостенных втулок, червячных шестерен и пр.

В условиях сухого трения износостойкость графитизированной стали характеризуется показателями, приведенными в табл. 43.

Прокаливаемость графитизированной стали по торцевой пробе характеризуется диаграммой, представленной на фиг. 52. С помощью диаграммы на фиг. 53 определяется критический диаметр для графитизированной стали (для испытываемой марки равный 35 мм).

Таблица 41
Механические свойства графитизированной стали марок ЭИ293 и ЭИ366 [6]

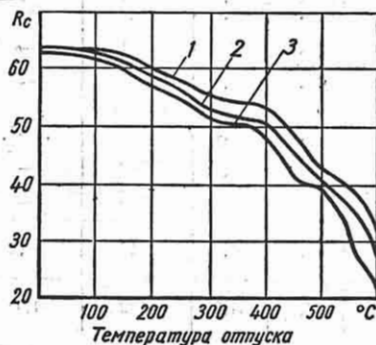
| Структура стали | σ_T в кг/мм ² | σ_{br} в кг/мм ² | δ в % | ψ в % | a_n в кг/см ² |
|----------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------|------------|-------------------------------|
| Феррит + графит | 19,7—20,8 | 36,6—41,5 | 14,2—20,4 | 19,0—31,2 | 2,6—2,7 |
| Зернистый перлит + графит | 28,2—30,0 | 53,9—54,8 | 16,9—18,6 | 16,0—16,5 | 1,9—2,0 |
| Пластинчатый перлит + графит | 49,3—49,5 | 82,7—85,8 | 3,3—4,5 | 5,0—7,0 | 0,6—1,0 |

Таблица 42

Результаты испытаний графитизированной стали (ЭИ293 и ЭИ366, на машине Амслера) на износ при 20 000 оборотов и давлении 25 кг/см² с масляной смазкой [11]

| Структура | Износ в см ³ /км | Кoeffициент трения | Сплав |
|----------------------------------------|--------------------------------|--------------------|-------------------------|
| Феррит + графит | 0,0460 | 0,029 | Графитизированная сталь |
| Зернистый перлит + графит | 0,0174 | 0,041 | |
| Пластинчатый перлит + графит | 0,0004 | 0,054 | |
| Латунь ЛС59 литая | 0,1748 | 0,156 | |

Примечание. Контртело из закаленной стали ШХ15 с перемещением образца, 1,0—1,5 мм.



Фиг. 51. Изменение твердости стали в зависимости от температуры отпуска: 1 и 2—образцы залиты в металлические формы; 3—в земляные формы.

Обработываемость графитизированной стали весьма удовлетворительна, особенно при дисперсной структуре цементита и перлита, несмотря на ее повышенную твердость.

Стойкость штампов из литой или кововой графитизированной стали весьма высока и составляет для стали ЭИ207 8000—10 000, а для стали У10А 200—300 шт.

Таблица 43

Кoeffициенты трения графитизированной стали

| Сплав | Контртело | Удельное давление в кг/см ² | Кoeffициент трения |
|-------------------------|------------------------------|-------------------------------------------|--------------------|
| Графитизированная сталь | Сталь марки 50 после закалки | 12,5 | 0,42—0,48 |
| | | 25,0 | 0,47—0,61 |
| Бронза Бр. ОЦС 5-5-5 | То же | 25,0 | 0,19 |
| | | 25,0 | 0,17 |

Сравнительная стойкость просечных штампов, изготовленных из стали



Фиг. 52. Твердость образца графитизированной стали по сечению.



Фиг. 53. Значения критического диаметра образца графитизированной стали.

ЭИ366, по количеству просечек приведена в табл. 44 [19].

Таблица 44

| Толщина изделия в мм | Стойкость штампа до первого затупления | | Режим термической обработки стали ЭИ366 |
|----------------------|----------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Сталь ЭИ12М | Сталь ЭИ366 | |
| 7,0 | 8 000 | 14 000 | 1. Закалка при 830—850° С в масле 2. Отпуск при 150—180° С с выдержкой 4 часа. Твердость RC = 56 |
| 3,0 | 8 000 | 13 600 | |
| 3,0 | 14 000 | 31 400 | |
| 2,0 | 10 000 | 34 000 | |
| 2,0 | 10 000 | 25 700 | |

Особыми преимуществами графитизированной стали при изготовлении из нее штампов является высокая стойкость рабочих поверхностей—отсутствие ри-

сок, царапин и задиров, а также налипание металла.

Просечные штампы весьма устойчивы против выкрашивания.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Бидуля П. Н. Литейное производство, Metallurgizdat, 1953.
2. Гиршович Н. Г., Чугунное литье, Metallurgizdat, 1949.
3. Гиршович Н. Г., Справочник по свойствам и применению ковкого чугуна, Оборонгиз, 1945.
4. Гиршович Н. Г., Производство ковкого чугуна в США, Metallurgizdat, 1932.
5. Гиршович Н. Г., О деформациях чугуна, „Литейное дело“ № 4—5, 1940.
6. Груздов П. Я., Графитизированная сталь, Metallurgizdat, 1950.
7. Гудцов Н. Т., Баринов Д. Ф. и др., „Металлург“ № 5, 1936.
8. Кудрявцев И. В., „Литейное производство“, № 3, 1953.
9. Клецкин Г. И., „Литейное производство“, № 11, 1952, стр. 17—20.
- 9а. Ланда А. Ф., „Литейное производство“, № 8, 1952, стр. 19—20.
10. Мильман Б. С., „Вестник машиностроения“ № 12, 1949, „Литейное производство“ № 2, 1952.
11. Нехендзи Ю. А., „Стальное литье“, Metallurgizdat, 1948.
12. Пивоварский Е., Чугун, 1951.
13. Спасский А. Г., Основы литейного производства, Metallurgizdat, 1950.
14. Троицкий Г. Н., Свойства чугуна, ГОНТИ, 1940.
15. Троицкий Г. Н., „Металлург“ № 2, 1940.
16. Троицкий Г. Н., „Металлург“ № 6, 1938.
17. Фесечко С. А., „Сталь“ № 7—8, 1941.
18. Шварц Г. А., Американский ковкий чугун, 1936.
19. Шевелев А. И., „Вестник машиностроения“ № 9, 1949.
20. Энциклопедический справочник „Машиностроение“, т. 4, Машгиз, 1947.
21. Высокопрочный чугун со сфероидальным графитом, ч. 1. Свойства чугуна, ЦНИИТМАШ, кн. 55. Машгиз, 1953.

ГЛАВА VI

ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

МЕДЬ ТЕХНИЧЕСКАЯ

Медь отличается высокими электропроводностью, теплопроводностью, коррозионной стойкостью и отличной обрабатываемостью давлением как в горячем, так и в холодном состоянии.

Эти свойства обуславливают широкое применение меди в машиностроении как в чистом виде, так и в виде разнообразных сплавов с другими металлами.

Механические и физические свойства меди

Медь — ковкий металл красноватого цвета. Кристаллическая структура — куб с центрированными гранями с параметром решетки $a = 3,608 \text{ \AA}$. Медь — химический элемент 1-й группы периодической системы Менделеева с поряд-

ковым номером 29 и атомным весом 63,57. Определены естественные стабильные изотопы меди с массами 63 и 65. Получены искусственные радиоактивные изотопы меди с массами: 58, 59, 60, 61, 62, 64, 66, 67 с периодом полураспада от 7,9 мин. до 12,8 часа.

Свойства меди зависят от чистоты и способа обработки. Почти все примеси понижают электропроводность меди. Примеси висмута и свинца, мало растворимые в меди, уменьшают ее пластичность. Примеси марганца, никеля, алюминия, цинка, олова и других металлов, образующих с медью твердые растворы, увеличивают твердость и прочность.

В табл. 1 указаны основные марки технической меди, их химический состав и назначение.

Техническая медь (по ГОСТ 859-41)

Таблица 1

| Марка | Химический состав в % | | | | | | | | | | | Примерное назначение |
|-------|-----------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|-------|---------------------------------------------------------------------------|
| | Cu не менее | Примесей не более | | | | | | | | | | |
| | | Bi | Sb | As | Fe | Ni | Pb | Sn | S | O ₂ | Zn | |
| M0 | 99,95 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,005 | 0,002 | 0,005 | 0,002 | 0,005 | 0,02 | 0,005 | Проводники тока и сплавы высокой чистоты |
| M1 | 99,90 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,005 | 0,002 | 0,005 | 0,002 | 0,005 | 0,08 | 0,005 | Проводники тока, прокат и высококачественные сплавы |
| M2 | 99,70 | 0,002 | 0,005 | 0,01 | 0,05 | 0,20 | 0,01 | 0,05 | 0,01 | 0,10 | — | Высококачественные полуфабрикаты и сплавы на медной основе |
| M3 | 99,50 | 0,003 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,20 | 0,05 | 0,05 | 0,01 | 0,10 | — | Прокатываемые сплавы на медной основе обычного качества и литейные сплавы |
| M4 | 99,00 | 0,005 | 0,20 | 0,20 | 0,10 | — | 0,30 | — | 0,02 | 0,15 | — | Литейные бронзы и различные неотчетственные сплавы |

Основные физические свойства меди следующие [5]; [13]; [17]:

| | |
|--------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Атомный вес | 63,57 |
| объем | 7,11 |
| Плотность при 20° С γ в $Г/см^3$ | 8,94 |
| 1083° С (твердое состояние) | 8,32 |
| Плотность при 1083° С (жидкое состояние) | 7,93 |
| Температура плавления в °С | 1083 |
| Сжатие объема при затвердевании в % | 4,05—4,2 |
| Скрытая теплота плавления в $кал/Г$ | 50,6 |
| Температура кипения в °С | 2360 |
| Скрытая теплота парообразования в $кал/Г$ | 858 |
| Удельная теплоемкость при 25° С в $кал/Г \cdot ^\circ C$ | 0,0918 |
| Теплопроводность при 20° С λ в $кал/см \cdot сек \cdot ^\circ C$ | 0,923 |
| Коэффициент линейного расширения (0—100° С), α | 16,5 \cdot 10^{-6} |
| Коэффициент линейного расширения (200—300° С), α | 18,0 \cdot 10^{-6} |
| Удельное электросопротивление при 20° С ρ в $ом \cdot мм^2/м$ | 0,01784 |
| Температурный коэффициент электросопротивления (0—100° С), α_ρ | 4,28 \cdot 10^{-3} |
| Удельная электропроводность при 20° С в $м/ом \cdot мм^2$ | 56,05 |
| Поверхностное натяжение в $дин/см$ | 1178 |
| Нормальный потенциал по отношению к водородному электроду в в | +0,34 |
| Вязкость при 1145° С в $Г/см \cdot сек$ | 0,0341 |

Механические свойства меди в различных состояниях приведены в табл. 2.

Таблица 2

Механические свойства технической меди [5]; [13]; [17]

| Состояние металла | Наименование свойства | Обозначение и размерность | Показатель |
|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------|
| Мягкий Твердый Литой Литой | Предел прочности при растяжении | $\sigma_{вр}$ $кг/мм^2$ | 24 40—50 |
| | | $\sigma_{в}$ $сжс$ " | 18—22 157 |
| | | $\tau_{в ср}$ " | 19 43 |
| Мягкий Твердый | Предел прочности при сжатии | $\sigma_{сж}$ " | 2,5 30 |
| | | $\sigma_{пц}$ " | 2,2 14 |
| Мягкий Твердый | Предел прочности при срезе | $\sigma_{Т}$ " | 7 38 |
| | | $\tau_{1к}$ " | 2,8 |
| Горячекатанный Холоднокатанный | Предел выносливости при кручении | σ_{-1} " | 4,2 |
| | | $\sigma_{пл}$ " | 6,7 11 |
| Мягкий Твердый | Предел выносливости при изгибе | $\sigma_{пл}$ " | 7 5 |
| | | δ % | 1,4 50 |
| При 20° С При 200° С При 400° С | Предел ползучести | δ % | 50 6 |
| | | Относительное удлинение | 6 |

Продолжение табл. 2

| Состояние металла | Наименование свойства | Обозначение и размерность | Показатель | | |
|----------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------------|--------|------------------|
| Литой Мягкий Твердый | Относительное сужение | ψ % | 18 75 35 | | |
| | | Литой | Осадка при сжатии | % | 17 65 |
| | | | | Мягкий | Ударная вязкость |
| Литой | Твердость по Бринеллю | H_B $кг/мм^2$ | >5,3 35 120 40 3 | | |
| | | Мягкий | Твердость по методу царапания | — | 3 |

В табл. 3 приведены механические свойства меди при высоких температурах.

Таблица 3

Механические свойства меди при высоких температурах [13]

| Температура испытания в °С | Медь М3 без примеси свинца | | | Медь М3 с примесью 0,04% свинца | | |
|----------------------------|----------------------------|--------------|------------|---------------------------------|--------------|------------|
| | $\sigma_{вр}$ в $кг/мм^2$ | δ в % | ψ в % | $\sigma_{вр}$ в $кг/мм^2$ | δ в % | ψ в % |
| 20 | 23,5 | 70 | 76 | 23 | 53 | 65 |
| 100 | 23 | 67 | 75 | 22 | 53 | 65 |
| 200 | 21,5 | 58 | 70 | 21 | 51 | 63 |
| 300 | 19,5 | 49 | 58 | 18 | 47 | 60 |
| 400 | 16 | 47 | 57 | 14 | 41 | 55 |
| 500 | 11 | 45 | 71 | 10 | 22 | 13 |
| 600 | 7 | 42 | 74 | 5,5 | 13 | 5,5 |
| 700 | 4,5 | 41 | 77 | 2,5 | 10 | 6 |
| 800 | — | — | — | 2 | 20 | 17 |
| 900 | — | — | — | 1,5 | 35 | 44 |

Коррозионные свойства меди

Медь весьма устойчива против атмосферной коррозии вследствие образования на ее поверхности тонкой защитной пленки, состоящей главным образом из основной серномедной соли $CuSO_4 \cdot 3Cu(OH)_2$.

Чистая пресная вода на коррозию меди действует незначительно. Конденсат в отсутствие CO_2 и кислорода практически на медь не действует. Скорость коррозии меди в морской воде также незначительна ($\sim 0,05$ мм/год).

Таблица 4

Механические свойства полуфабрикатов из меди

| Вид изделий | Состояние материала | Механические свойства | | Стандарт и ТУ |
|----------------------------------------|---------------------|------------------------------------|--------------|---------------|
| | | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | δ в % | |
| | | не менее | | |
| Листы холоднокатанные | Мягкие | 20 | 30 | ГОСТ 495-50 |
| | Твердые | 30 | 3 | |
| Листы горячекатанные | — | 20 | 30 | ГОСТ 495-50 |
| | Листы и ленты | Мягкие | 21 | |
| Прутки тянутые диаметром 5—40 мм | Твердые | 30 | 3 | ГОСТ 1535-48 |
| | Мягкие | 20 | 38 | |
| Прутки прессованные диаметром 14—20 мм | Твердые | 27 | 6 | ГОСТ 1535-48 |
| | — | 20 | 30 | |
| Прутки катаные диаметром 35—100 мм | — | 25 | 8 | ГОСТ 1535-48 |
| Проволока для заклепок | — | 24 | 15 | ГОСТ 770-41 |
| Трубы | Мягкие | 21 | 35 | ЦМТУ 3279-53 |
| Трубы тянутые | Твердые | 30 | 3,5 | ЦМТУ 3341-53 |
| Ленты толщиной 0,35 мм и выше | Мягкие | 20 | 30 | ГОСТ 1018-54 |

В растворах неокислительных солей медь весьма устойчива, однако в присутствии окисных солей железа (рудничные воды), олова, ртути и др. скорость коррозии меди резко возрастает. Сухие газы (галогены) оказывают незначительное влияние на медь. Медь плохо сопротивляется воздействию аммиака, хлористого аммония, щелочных цианистых соединений и сильно корродирует в окислительных минеральных кислотах. Органические кислоты (уксусная, лимонная, молочная, жирные кислоты), спирты, фенольные смолы оказывают незначительное действие, поэтому медь широко применяется в промышленности (перегонные кубы, испарители, холодильники, трубопроводы и пр.).

Некоторые технологические характеристики технической меди:

| | |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Температура литья в °С | 1150—1200 |
| горячей обработки в °С | 900—1050 |
| отжига в °С | 500—700 |
| начала рекристаллизации наклепанной меди в °С | 200—300 |
| Жидкотекучесть в см | 35 |
| Линейная усадка в % | 2,1 |
| Травитель для полуфабрикатов | 10% ₀ -ная серн. кисл. |
| Атмосфера при плавнении | Восстановительная |
| Смазка для изложниц | Керосин 90%, сажа 10% |
| Покровный материал | Сухой древесный уголь |

Механические свойства полуфабрикатов из меди приведены в табл. 4.

МЕДНОЦИНКОВЫЕ СПЛАВЫ — ЛАТУНИ

Двойные медноцинковые сплавы — латуни — обладают хорошими механическими и технологическими свойствами. Добавки олова, марганца, никеля, алюминия, железа и др. сообщают сплавам повышенные механические и физические свойства.

Сложные медноцинковые сплавы, содержащие специальные добавки, называются специальными латунями. Как двойные, так и специальные латуни достаточно устойчивы в отношении общей коррозии, однако в напряженном состоянии они весьма чувствительны к коррозионному разрушению. Сплавы эти при хранении на воздухе, особенно при воздействии на них паров аммиака, легко разрушаются. Поэтому изделия из них необходимо подвергать отпуску при температуре 280—300° С. Низкотемпературный отпуск, не понижая механических свойств латуней, снимает внутренние напряжения 1-го рода, что в значительной степени предохраняет эти сплавы от коррозионного разрушения.

По технологическому признаку медноцинковые сплавы разделяются на литейные и обрабатываемые давлением. Их химические составы, свойства и области применения приведены в табл. 5—16.

Сплавы медноцинковые (латуни литейные) (по ГОСТ 1019-47)

| Сплав | Марка сплава | Химический состав в % (Zn — остальное) | | | | | | | | | | | Всего при- месей | | | |
|----------------------------------------------------------|----------------|----------------------------------------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|-------------------|-----|-----|-------|---------------------|-----|----|-----|
| | | Cu | Al | Fe | Mn | Si | Sn | Pb | Примесей не более | | | | | | | |
| | | | | | | | | | Pb | Sn | Sb | Mn | | Fe | Al | |
| Латунь алюминиевая | ЛА 67-2,5 | 66—68 | 2—3 | — | — | — | — | — | 1,0 | 1,0 | 0,1 | 0,5 | 0,8 | — | — | 3,4 |
| Латунь алюминево-железистомарганцевая литейная | ЛАЖМц 66-6-3-2 | 64—68 | 6—7 | 2,0—4,0 | 1,5—2,5 | — | — | — | 1,0 | 1,0 | 0,1 | — | — | — | — | 2,1 |
| Латунь железисто-алюминиевая | ЛАЖ 60-1-1Л | 58—61 | 0,75—1,5 | 0,75—1,5 | 0,1—0,6 | — | 0,2—0,7 | — | 0,4 | — | 0,1 | 0,01P | — | — | — | 0,7 |
| Латунь кремнистая | ЛК 80-3Л | 79—81 | — | — | — | 2,5—4,5 | — | — | 0,5 | 0,3 | 0,1 | 1,0 | 0,6 | 0,1 | — | 2,8 |
| Латунь кремнисто-свинцовая | ЛКС 80-3-3 | 79—81 | — | — | — | 2,5—4,5 | — | 2—4 | — | — | — | 1,0 | 0,6 | 0,3 | — | 2,0 |
| Латунь марганцово-стосвинцовая | ЛМцС 58-2-2 | 57—60 | — | — | 1,5—2,5 | — | — | 1,5—2,5 | — | — | 0,5 | — | 0,8 | 1,0 | — | 2,5 |
| Латунь марганцово-столоваяносивинцовая | ЛМцОС 58-2-2-2 | 56—60 | — | — | 1,5—2,5 | — | 1,5—2,5 | 0,5—2,5 | — | — | — | — | 0,8 | 0,3 | — | 1,2 |
| Латунь марганцово-стожелезная | ЛМцЖ 55-3-1 | 53—58 | — | 0,5—1,5 | 3—4 | — | — | — | 0,5 | — | 0,1 | — | — | — | — | 2,0 |
| То же | ЛМцЖ 52-4-1 | 50—55 | — | 0,5—1,5 | 4—5 | — | — | — | 0,5 | — | 0,1 | — | — | — | — | 1,5 |
| Латунь свинцовая | ЛС 59-1Л | 57—61 | — | — | — | — | — | 0,8—1,9 | — | — | — | — | 0,8 | — | — | 2,0 |

Примечания: 1. Примеси, не указанные в таблице, учитываются в общей сумме примесей.

2. В латунях марок ЛК 80-3Л и ЛКС 80-3-3 допускается до 0,2% Ni за счет суммы примесей; в латунях остальных марок — до 1,0% Ni за счет содержания меди.

Физические и механические свойства, технологические характеристики и области применения литейных сплавов [13]; [17]

| Марка сплава | Плотность ρ в г/см ³ | Состояние | Темперопроводность λ в кал/см сек °С | Механические свойства | | | Жидкотекучесть в см | Усадка в % | Область применения |
|----------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|--------------|--------------------------------------|---------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | δ в % | Твердость H_B в кг/мм ² | | | |
| ЛД 67-2,5 | 8,5 | Литье в кокиль " " " " земля | 0,27 | 40 30 | 15 12 | 90 | 57 | 1,25 | Коррозионностойкие детали в морском судостроении и общем машиностроении |
| ЛДЖМц 66-6-3-2 | 8,5 | " " " " кокиль " " " " земля Центробежное литье | — | 65 60 70 | 7 7 7 | 160 | — | — | Гайки нажимных винтов, работающие в тяжелых условиях; массивные червячные винты |
| ЛДЖ 60-1-1Л | 8,5 | Литье в кокиль " " " " земля | — | 42 38 | 18 20 | 90 80 | — | — | Арматура, втулки, подшипники |
| ЛК 80-3Л | 8,3 | " " " " кокиль " " " " земля | 0,10 | 30 25 | 15 10 | 110 100 | — | 1,7 | Литая арматура, шестерни, детали судов, арматура, подвергающаяся действию морской воды |
| ЛКС 80-3-3 | 8,6 | " " " " кокиль " " " " земля | — | 30 25 | 15 7 | 100 90 | 60 60 | 1,7 | Литые подшипники и втулки |
| ЛМцС 58-2-2 | 8,5 | " " " " кокиль " " " " земля | 0,11 | 35 25 | 8 10 | 80 70 | 22 22 | 1,8 | Подшипники, втулки и другие антифрикционные детали |
| ЛМцОС 58-2-2-2 | 8,5 | " " " " кокиль " " " " земля | 0,118 | 30 30 | 4 6 | 100 90 | — | — | Шестерни |
| ЛМцЖ 55-3-1 | 8,5 | " " " " кокиль " " " " земля | — | 50 45 | 10 15 | 100 90 | 60 60 | 1,6 | Несложные по конфигурации детали ответственного назначения, арматура для морского судостроения, работающая при температуре до 300°С; гребные винты и их лопасти |
| ЛМцЖ 52-4-1 | 8,3 | " " " " земля | — | 50 | 15 | 100 | — | — | Авнадетали, несущие силовую нагрузку; ответственные подшипники и арматура |
| ЛС 59-1Л | 8,5 | Центробежное литье | 0,26 | 20 | 20 | 80 | 51 | 2,23 | Втулки для шарикоподшипников |

Таблица 7

Медноцинковые сплавы (латуни), обрабатываемые давлением (двойные) (по ГОСТ 1019-47)

| Сплав | Марка сплава | Химический состав в % (Zn — остальное) | | | | | | |
|----------------------|--------------|----------------------------------------|-------------------|------|-------------------|-------------------|------------------|----------------|
| | | Cu | Примесей не более | | | | | Всего примесей |
| | | | Pb | Fe | Sb | Bi | P | |
| Томпак | Л96 | 95—97 | 0,03 | 0,10 | 0,005 | 0,002 | 0,01 | 0,2 |
| „ | Л90 | 88—91 | 0,03 | 0,10 | 0,005 | 0,002 | 0,01 | 0,2 |
| Полутомпак | Л85 | 84—86 | 0,03 | 0,10 | 0,005 | 0,002 | 0,01 | 0,3 |
| „ | Л80 | 79—81 | 0,03 | 0,10 | 0,005 | 0,002 | 0,01 | 0,3 |
| Латунь | Л70 | 69—72 | 0,03 | 0,07 | 0,002 0,005 As | 0,002 0,005 Sn | 0,005 0,002 S | 0,2 |
| „ | Л68 | 67—70 | 0,03 | 0,10 | 0,005 | 0,002 | 0,01 | 0,3 |
| „ | Л62 | 60,5—63,5 | 0,08 | 0,15 | 0,005 | 0,002 | 0,01 | 0,5 |

Примечания: 1. Примеси, не указанные в таблице, учитываются в общей сумме примесей.

2. В латуни Л68, предназначенной для изделий специального назначения, содержание примесей не должно превышать 0,07 Fe; 0,002Sb; 0,005 P; 0,005 As; 0,002 S; суммы примесей 0,2%.

3. В латуни всех марок, кроме Л68 и Л70, считается допустимой примесь никеля до 0,5% за счет содержания меди.

Таблица 8

Физические свойства медноцинковых сплавов (двойных), обрабатываемых давлением [13]; [17]

| Марка сплава | Температура плавления в °C | Плотность γ в $г/см^3$ | Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ | Теплопроводность λ в $кал/см сек \cdot ^\circ C$ | Удельное электро сопротивление ρ в $ом \cdot мм^2/м$ | Температурный коэффициент электропроводности $\alpha_p \cdot 10^3$ | Модуль нормальной упругости $E \cdot 10^{-3}$ в $кг/мм^2$ |
|--------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Л96 | 1070 | 8,85 | 17 | 0,585 | 0,043 | 2,7 | 11,4 |
| Л90 | 1045 | 8,80 | 17 | 0,30 | 0,040 | 1,7 | 9,1 |
| Л85 | 1021 | 8,75 | 18,7 | 0,36 | — | — | 10,5 |
| Л80 | 1003 | 8,65 | 18,8 | 0,34 | 0,060 | 1,5 | 11,6 |
| Л68 | 938 | 8,60 | 19 | 0,26 | 0,071 | 1,0 | 11,0 |
| Л62 | 905 | 8,50 | 20 | 0,20 | 0,071 | 1,7 | 10,0 |

Примечания: 1. Значения модуля упругости относятся к латуни обработанной мягкой (отожженной).

2. Структура сплавов марок Л96, Л90, Л85, Л80 и Л68 — однофазная, марки Л62 — двухфазная.

Таблица 9

Механические свойства медноцинковых сплавов — латуней (двойных), обрабатываемых давлением [13]; [17]

| Марка сплава | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | $\sigma_{пц}$ в кг/мм ² | $\sigma_{т}$ в кг/мм ² | σ_{-1} в кг/мм ² | $\sigma_{у}$ в кг/мм ² | δ в % | ψ в % | $\sigma_{Н}$ в кг/мм ² | H_B в кг/мм ² | Коэффициент трения | | Коррозионная стойкость — потеря в весе в г/м ² в сутки | |
|--------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------------|------------|-----------------------------------|----------------------------|--------------------|------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| | | | | | | | | | | со смазкой | без смазки | в морской воде | в 10% ⁰ -ной H ₂ SO ₄ |
| L96 | 24 * | 1,6 * | 6,3 * | — | — | 52 * | — | 22 * | 40 *** | — | — | 0,20 | — |
| L90 | 40 ** | 1,9 ** | 39,0 ** | — | — | 2 ** | — | — | — | — | — | — | — |
| L185 | 26 * | 6,5 *** | 13,0 * | 12,6 * | 7,0 * | 44 * | — | 18 * | 53 * | 0,074 | 0,44 | 0,50 | — |
| | 28 * | — | 10,0 * | 10,0 * | — | 43 * | 80 * | — | 54 * | — | — | — | — |
| L180 | 31 * | 6,8 * | 59,4 ** | 10,5 * | 6,0 * | 52 * | 69 * | 16 * | 53 * | 0,015 | 0,71 | 0,43 | — |
| L170 | 33 ** | — | 12,0 * | 12,0 * | — | 55 * | 75 * | — | — | — | — | — | — |
| L168 | 33 * | 5,0 * | 10,0 * | 12,0 * | 4,0 * | 56 * | 70 * | 17 * | 150 ** | — | — | 0,48 | 1,75 |
| L162 | 36 * | 6,0 * | 11,0 * | 12,0 * | 5,0 * | 49 * | 66 * | 14 * | 56 * | 0,012 | 0,39 | 0,61 | 1,46 |

Примечание. Антифрикционные свойства всех сплавов определены на приборе Амслера в паре с осевой железнодорожной сталью: а) со смазкой — удельное давление 75 кг/см², скорость 0,4 м/сек, продолжительность испытания 8 час., смазка — масло веретенное 2; б) без смазки — удельное давление 12,5 кг/см², скорость 0,4 м/сек, характер нагрузки — нагрузка спокойная.

* Обработанный мягкий (отожженный). ** Обработанный твердый. *** Литые в кокиль.

Таблица 10

Технологические характеристики медноцинковых сплавов — латуней (двойных), обрабатываемых давлением [13]

| Марка сплава | Температура в °С | | | Жилкоугучность в см | Линейная усадка в % | Метод обработки | Примерное назначение |
|--------------|------------------|-------------------|---------|---------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| | литья | горячей обработки | отжига | | | | |
| L96 | 1160—1200 | 775—850 | 540—600 | — | — | Волочение | Рadiatorные трубки |
| L190 | 1160—1200 | 900—950 | 650—720 | 65 | 2,08 | Горячий и холодный прокат | Листы и ленты для плакирования |
| L185 | — | — | — | — | 2,0 | Волочение, горячий и холодный прокат, прессование | Трубы гофрированные |
| L180 | 1160—1180 | 820—870 | 600—700 | — | 2,0 | Горячий и холодный прокат, волочение | Листы, ленты и проволока |
| L170 | 1100 | 700—800 | 600—700 | 63 | 1,92 | Горячий и холодный прокат, прессование, волочение, глубокая штамповка | Полосы и ленты специального назначения |
| L168 | 1100 | 700—800 | 600—700 | 63 | 1,92 | Горячий и холодный прокат, волочение | Полосы, ленты, листы, трубы и проволока |
| L162 | 1080 | 800—850 | 600—700 | 65 | 1,77 | То же и прессование | Полосы, ленты, листы, трубы, прутки и проволока |

Примечание. Для сплавов всех марок: 1) обрабатываемость давлением как в горячем, так и в холодном состоянии отличная; 2) атмосфера при плавнении — восстановительная; 3) травитель для полуфабрикатов — 10%⁰-ный водный раствор H₂SO₄; 4) состав смазки для изложниц — нефти 58%⁰, мыла зеленого 30%⁰, костяной муки 7%⁰ и керосина 5%⁰; 5) покровный материал — древесный уголь.

Таблица 11

Механические свойства полуфабрикатов из медноцинковых сплавов — латуни (двойных), обрабатываемых давлением

| Марка сплава | Вид изделий | Состояние материала | Механические свойства | | Примечание | |
|----------------|----------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------|
| | | | Предел прочности при растяжении $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | Относительное удлинение δ в % | | |
| | | | | | | не менее |
| Л96 | Трубки радиаторные № 4, 5, 6, 7 и 8 | | 35—60 | — | ГОСТ 529-41 ГОСТ 529-41 ГОСТ 2936-45 | |
| | № 9, 10, 11 | | 48—58 | — | | |
| | Трубки радиаторные плоскоовальные | | 35—60 | — | | |
| | Трубки цельнотянутые | Мягкие | 25 | 35 | ЦМТУ 650-41 | |
| | | Твердые | 35 | 2 | | |
| | Трубки конденсаторные типа I | Полутвердые | 33 | 10 | ЦМТУ 343-43 ЦМТУ 3381-53 | |
| II | | 25 | 10 | | | |
| Ленты и полосы | Мягкие | 25 | 35 | | | |
| Л90 | Профили фасонные | | 33—43 | > 7 | ЦМТУ 513-41 ЦМТУ 2079-49 ЦМТУ 2678-50 | |
| | Ленты и полосы | Мягкие | 27 | 35 | | |
| | | Полутвердые | 34 | 7 | | |
| | | Твердые | 40 | — | ЦМТУ 176-41 | |
| | Листы и полосы | Мягкие | 26 | 38 | | |
| | | Полутвердые | 33 | 10 | | |
| Л85 | Трубы | Мягкие | 25 | 30 | ТУ ЦМО 1512-53 ТУ ЦМО 1001-53 ЦМТУ 1506-46 | |
| Л80 | Ленты канатные | Мягкие | 27 | 50 | | |
| | Катанка | Мягкая | 30 | 25 | | |
| Л68 | Листы и полосы | Мягкие | 30 | 40 | ГОСТ 931-52 | |
| | | Полутвердые | 35 | 25 | | |
| | | Твердые | 40 | 15 | | |
| | Ленты | Мягкие | 30 | 40 | ГОСТ 2208-49 | |
| | | Полутвердые | 35 | 25 | | |
| | | Твердые | 40 | 15 | | |
| | | Особо твердые | 50 | 4 | ГОСТ 1066-50 | |
| | Проволока диаметром 1,1—12 мм | Мягкая | 30 | 40 | | |
| | | Полутвердая | 35 | 15 | | |
| | | Твердая | 50 | 5 | ГОСТ 494-52 | |
| | Трубы | Тянутые мягкие | 30 | 38 | | |
| | | Полутвердые | 35 | 38 | | |
| | Трубки тонкостенные | Мягкие | 30 | 38 | ЦМТУ 650 41 | |
| | | Твердые | 40 | 10 | | |
| Л62 | Листы и полосы | Мягкие | 30 | 40 | ГОСТ 931-52 | |
| | | Полутвердые | 35 | 20 | | |
| | | Твердые | 42 | 10 | | |
| | | Особо твердые | 60 | 2,5 | ГОСТ 2208-49 | |
| | Ленты | Мягкие | 30 | 35 | | |
| | | Полутвердые | 38 | 20 | | |
| | | Твердые | 42 | 10 | ГОСТ 2060-48 | |
| | Прутки | Особо твердые | 60 | 2,5 | | |
| | | Тянутые | 38 | 15 | | |
| | | Прессованные | 30 | 30 | ГОСТ 494-52 | |
| | Трубы | Катаные | 38 | 15 | | |
| | | Тянутые | | | | |
| | | Мягкие | 30 | 38 | ГОСТ 1066-50 | |
| | | Полутвердые | 34 | 30 | | |
| | | Прессованные | 30 | 38 | | |
| | | Проволока диаметром 0,55—1,0 и 1,1—4,8 | Мягкая | 35 | 26 | ГОСТ 1066-50 |
| | | | | 35 | 30 | |
| | | | | 45 | 5 | |
| | | Проволока диаметром 0,55—1,0 и 1,1—4,8 | Полутвердая | 45 | 10 | ГОСТ 1066-50 |
| | | | | 40 | 10 | |
| | | | Твердая | 55 | 1 | |
| | Проволока диаметром 0,55—1,0 и 1,1—4,8 | | 45 | 2 | ГОСТ 770-41 | |
| | | | 38 | 18 | | |
| | Проволока для заклепок | Мягкие | 30 | 38 | | |
| | Трубки тонкостенные | Твердые | 40 | 10 | ЦМТУ 650-41 | |

Медноникелевые сплавы (латуни), обрабатываемые давлением (по ГОСТ 1019-47)

| Сплав | Марка сплава | Химический состав в % (Zn — остальное) | | | | | | | | | | Всего | |
|---------------------------------|--------------|----------------------------------------|---------|-----------|---------|----------|------------|-------------------|------|-------|-------|-------|------|
| | | Cu | Pb | Sn | Mn | Al | Прочие | Примесей не более | | | | | |
| | | | | | | | | Pb | Fe | Sb | Bi | | P |
| Латунь алюминиевая | ЛА 77-2 | 76—79 | — | — | — | 1,75—2,5 | — | 0,07 | 0,10 | 0,005 | 0,002 | 0,01 | 0,3 |
| Латунь алюминево-железная | ЛАЖ 60-1-1 | 58—61 | — | — | 0,1—0,6 | 0,75—1,5 | 0,75—1,5Fe | 0,4 | — | 0,005 | 0,002 | 0,01 | 0,7 |
| Латунь алюминево-никелевая | ЛАН 59-3-2 | 57—60 | — | — | — | 2,5—3,5 | 2,0—3,0Ni | 0,1 | 0,50 | 0,005 | 0,003 | 0,01 | 0,9 |
| Латунь никелевая | ЛН 65-5 | 64—67 | — | — | — | — | 5,0—6,5Ni | 0,03 | 0,15 | 0,005 | 0,002 | 0,01 | 0,3 |
| Латунь железисто-марганцовистая | ЛЖМц 59-1-1 | 57—60 | — | 0,2—0,7 | 0,5—0,8 | 0,1—0,2 | 0,6—1,2Fe | 0,2 | — | 0,01 | 0,003 | 0,01 | 0,25 |
| Латунь марганцовистая | ЛМц 58-2 | 57—60 | — | — | 1,0—2,0 | — | — | 0,1 | 1,0 | 0,005 | 0,002 | 0,01 | 1,2 |
| Латунь марганцовистоалюминиевая | ЛМцА 57-3-1 | 55—58,5 | — | — | 2,5—3,5 | 0,5—1,5 | — | 0,2 | 1,0 | 0,005 | 0,002 | 0,01 | 1,3 |
| Томпак оловянистая | ЛО 90-1 | 88—91 | — | 0,25—0,75 | — | — | — | 0,03 | 0,10 | 0,005 | 0,002 | 0,01 | 0,2 |
| Латунь оловянистая | ЛО 70-1 | 69—71 | — | 1,0—1,5 | — | — | — | 0,07 | 0,10 | 0,005 | 0,002 | 0,01 | 0,3 |
| То же | ЛО 62-1 | 61—63 | — | 0,7—1,1 | — | — | — | 0,10 | 0,10 | 0,005 | 0,002 | 0,01 | 0,3 |
| | ЛО 60-1 | 59—61 | — | 1,0—1,5 | — | — | — | 0,3 | 0,10 | 0,005 | 0,002 | 0,01 | 1,0 |
| Латунь свинцовистая | ЛС 74-3 | 72—75 | 2,4—3,0 | — | — | — | — | — | 0,10 | 0,005 | 0,002 | 0,01 | 0,25 |
| То же | ЛС 64-2 | 63—66 | 1,5—2 | — | — | — | — | — | 0,10 | 0,005 | 0,002 | 0,01 | 0,3 |
| | ЛС 63-3 | 62—65 | 2,4—3,0 | — | — | — | — | — | 0,10 | 0,005 | 0,002 | 0,01 | 0,25 |
| | ЛС 60-1 | 59—61 | 0,6—1,0 | — | — | — | — | — | 0,15 | 0,005 | 0,002 | 0,01 | 0,5 |
| | ЛС 59-1 | 57—60 | 0,8—1,9 | — | — | — | — | — | 0,5 | 0,010 | 0,003 | 0,02 | 0,75 |
| | ЛС 59-1В | 57—61 | 0,8—1,9 | — | — | — | — | — | 0,5 | 0,01 | 0,003 | 0,02 | 1,5 |
| Латунь железисто-свинцовистая | ЛЖС 58-1-1 | 56—58 | 0,7—1,3 | — | — | — | 0,7—1,3Fe | — | — | 0,01 | 0,003 | 0,02 | 0,5 |
| Латунь кремнистая | ЛК 80-3 | 79—81 | — | — | — | — | 2,5—4,0Si | 0,1 | 0,6 | 0,05 | 0,003 | 0,02 | 1,5 |

Примечание. Примеси, не указанные в таблице, учитываются в общей сумме примесей.

В латунях всех марок, кроме ЛАН 59-3-2, ЛН 65-5, ЛС 59-1 и ЛС 59-1В, примесь никеля до 0,5%, а в сплавах ЛС 59-1 и ЛС 59-1В до 1,0%, считается допустимой (за счет содержания меди).

В латуни ЛС 59-1 сумма примесей олова и кремния не должна превышать 0,5%.

В латуни ЛМц 58-2, по требованию потребителя, содержание марганца устанавливается в пределах 3—6%.

В латуни ЛК 80-3 допускается содержание примесей не более 0,1% Al, 0,2% Sn и 0,5% Mn.

В латунях марок ЛМц АЗГ-3-1 и ЛМц 58-2, предназначенных для фасонного литья и заготовок для обработки давлением в горячем состоянии (ковки), содержание фосфора не должно превышать 0,03%.

Таблица 13

Физические свойства медноцинковых сплавов — латуней (специальных), обрабатываемых давлением [13]; [17]

| Марка сплава | Температура плавления в °С | Плотность γ в Г/см^3 | Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ | Теплопроводность λ в $\text{кал/см сек } ^\circ\text{С}$ | Удельное электро-сопротивление ρ в $\text{ом мм}^2/\text{м}$ | Модуль нормальной упругости $E \cdot 10^{-3}$ в кг/мм^2 | Структура |
|--------------|----------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------|
| ЛА 77-2 | 1000 | 8,6 | — | 0,27 | — | — | — |
| ЛАН 59-3-2 | 956 | 8,4 | 19 | 0,20 | 0,078 | 10,0*** | Трехфазная |
| ЛН 65-5 | 960 | 8,65 | 18,2 | — | 0,146 | 14,1*** | Однофазная |
| ЛЖМц 59-1-1 | 900 | 8,5 | 21 | 0,24 | 0,093 | 10,6*** | Трехфазная |
| ЛМц 58-2 | 880 | 8,5 | 21,2 | 0,168 | 0,108 | 10,0 | Двухфазная |
| ЛО 90-1 | 1015 | 8,8 | 18,4 | 0,30 | 0,054 | — | — |
| ЛО 70-1 | 980 | 8,54 | 19,7 | 0,218 | 0,072 | 10,6** | Однофазная |
| ЛО 62-1 | 906 | 8,45 | 19,3 | 0,26 | 0,072 | 10,5** | Двухфазная |
| ЛО 60-1 | 900 | 8,45 | 19,3 | 0,237 | 0,072 | 10,5** | То же |
| ЛС 74-3 | 965 | 8,7 | 17,5 | 0,29 | — | 10,6 | — |
| ЛС 64-2 | 915 | 8,55 | 18 | 0,27 | 0,066 | 10,5 | Двухфазная |
| ЛС 6-3 | 930 | 8,5 | 19 | — | 0,07 | — | То же |
| ЛС 60-1 | 900 | 8,5 | 20,8 | 0,25 | 0,072 | 10,5 | — |
| ЛС 59-1 | 885 | 8,5 | 19 | 0,25 | 0,065 | 9,3*** | — |
| ЛС 59-1В | 885 | 8,5 | 19 | 0,25 | 0,065 | 9,3*** | Трехфазная |
| ЛК 80-3 | 900 | 8,6 | 17 | 0,1 | 0,2 | 9,8* | Двухфазная |

* Литой.

** Обработанный мягкий.

*** Обработанный полутвердый.

Таблица 14

Механические свойства медноцинковых сплавов — латуней (специальных), обрабатываемых давлением [13]; [17]

| Марка сплава | Предел прочности при растяжении $\sigma_{вр}$ в кг/мм^2 | Предел текучести σ_T в кг/мм^2 | Предел выносливости $\sigma_{ус}$ в кг/мм^2 | Предел упругости σ_y в кг/мм^2 | Относительное удлинение δ в % | Относительное сужение ψ в % | Ударная вязкость a_k в кг/мсм^2 | Твердость H_B в кг/мм^2 | Коэффициент трения ¹ | | Коррозионная стойкость, потеря в весе в г/м^2 в сутки | |
|--------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| | | | | | | | | | со смазкой | без смазки | 2% NaOH | 10% H ₂ SO ₄ |
| ЛА 77-2 | 38** | — | — | 7,5** | 50** | 57 | — | — | — | — | — | — |
| ЛАН 59-3-2 | 50** | 30* | — | — | 42** | — | 4** | 117** | 0,32 | 0,01 | 0,09 | 1,15 |
| ЛН 65-5 | 38** | 14** | — | 30*** | 65 | — | 65 | 0,20 | 0,008 | — | — | — |
| ЛЖМц 59-1-1 | 46** | 17** | 12,8*** | — | 25* | 50** | 12** | 80** | 0,39 | 0,012 | 0,58 | 1,77 |
| ЛМц 58-2 | 44** | 15,6** | 12,7 | 9* | 36** | 52** | 12** | 85** | 0,32 | 0,012 | 0,55 | 1,59 |
| ЛМцА 57-3-1 | — | 33 | — | — | 47 | — | — | — | — | — | — | — |
| ЛО 90-1 | 28** | 9,8* | — | — | 40** | 55* | 7,5** | 57 | — | — | — | — |
| ЛО 70-1 | 35** | 16,2 | 10,6* | 16** | 62** | 70 | 6,2** | 57** | 0,46 | 0,013 | — | — |
| ЛО 62-1 | 33** | 15,0** | 14,55*** | 10,5** | 37** | 50 | 7,7* | 85** | — | — | 0,55 (в морской воде) | 1,51 |
| ЛО 60-1 | 38** | 18** | 14*** | 10,5** | 37** | 33 | 5,6** | — | 0,38 | 0,008 | — | — |
| ЛС 74-3 | 35** | 9,6** | 12** | — | 6,5** | — | — | 45 | — | — | — | 1,51 |
| ЛС 64-2 | 33** | 8,5** | — | 5,7—7** | 60** | — | — | 40 | — | — | — | — |
| ЛС 60-1 | 35** | 12** | — | 10,5** | 50** | — | — | — | — | — | — | — |
| ЛС 59-1 | 42** | 14,5** | 16,2*** | — | 8** | 36—50** | 44** | 5** | 0,17 | 0,013 | — | 1,4 |
| ЛС 59-1В | — | 14,5** | — | — | 8** | — | 44** | 75** | — | — | — | — |
| ЛК 80-3 | 30—50 | 10,5* | — | — | 15—60 | — | — | 12—16* | — | — | — | — |

* Литой.

** Обработанный мягкий.

*** Обработанный полутвердый.

¹ См. примечание к табл. 9.

Таблица 15

Технологические характеристики медноцинковых сплавов — латуней (специальных), обрабатываемых давлением [13]; [17]

| Марка сплава | Температура в °С | | | Линейная усадка в % | Жидкотекучесть в с.м | Обрабатываемость давлением | |
|--------------|------------------|-----------------------------|---------|---------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|
| | литья | горячей обработки | отжига | | | в горячем состоянии | в холодном состоянии |
| ЛАН 59-3-2 | 1080—1120 | 700—750 | 600—650 | 1,55 | 47 | Отличная | Удовлетворительная |
| ЛН 65-5 | 1150 | 870 | 650 | — | — | То же | Отличная |
| ЛЖМц 59-1-1 | 1040—1080 | 680—730 | 600—650 | 2,14 | 83 | Хорошая | Удовлетворительная |
| ЛМц 58-2 | 1040—1080 | 650—730 | 600—650 | 1,45 | — | Удовлетворительная | — |
| ЛО 90-1 | 1170—1210 | 870—900 | 650—720 | 2,05 | 85 | Хорошая | Хорошая |
| ЛО 70-1 | 1150—1180 | 650—700 | 620 | 1,71 | 49 | Отличная | То же |
| ЛО 62-1 | 1060—1110 | 760—800 | 650 | 1,78 | 52 | Удовлетворительная | Удовлетворительная |
| ЛО 60-1 | 1060—1100 | 760—800 | 650 | 1,78 | 52 | — | — |
| ЛС 74-3 | 1140 | Не обрабатывается в горячую | 650 | — | — | Не обрабатывается | Удовлетворительная |
| ЛС 64-2 | 1060—1140 | То же | 620—670 | 2,2 | — | То же | То же |
| ЛС 59-1 | 1030—1080 | 740 | 600—650 | 2,23 | — | Хорошая | — |
| ЛК 80-3 | 950—1000 | 750—850 | — | 1,7 | 80 | То же | Хорошая |

Таблица 16

Свойства полуфабрикатов из специальных медноцинковых сплавов — латуней

| Сплав | Марка сплава | Вид изделия | Состояние материала | Механические свойства | | | ГОСТ и ТУ |
|-----------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| | | | | Предел прочности при растяжении $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | Относительное удлинение δ в % | Твердость НВ в кг/мм ² | |
| | | | | не менее | | | |
| Латунь алюминиевая | ЛА 77-2 | Трубы конденсаторные | Мягкие | 38 | 23 | — | ГОСТ 2203-43 |
| Латунь алюминиевожелезистая | ЛАЖ 60-1-1 | Трубы Прутки \varnothing 10—120 мм | Прессованные | 45 45 | 18 18 | 90 — | ТУ ЦМО 555-47 ГОСТ 2060-48 |
| Латунь алюминиевоникелевая | ЛАН 59-3-2 | Трубы | Прессованные | 55 | 12 | — | МПУ 4212-53 |
| Латунь никелевая | ЛН 65-5 | Ленты Катанка для сеток | Мягкие Полутвердые | 30 42 30 | 40 15 25 | — — — | ВТУЦМО 7-17-51 ЦМТУ 2071-48 |
| Латунь железомарганцевая | ЛЖМц 59-1-1 | Трубы обычные Прутки \varnothing 35—100 мм Прутки \varnothing 5—40 мм Прутки \varnothing 10—20 мм Листы и полосы | Прессованные | 44 50 | 28 18 | — — | ГОСТ 494-52 ГОСТ 2060-48 |
| | | | Тянутые | 50 | 18 | — | ГОСТ 2060-48 |
| | | | Прессованные | 44 | 28 | — | ГОСТ 2060-48 |
| | | | | 50 | 15 | — | ТУЦМО 1010-53 |

Продолжение табл. 16

| Сплав | Марка сплава | Вид изделия | Состояние материала | Механические свойства | | | ГОСТ и ТУ | |
|-----------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------|
| | | | | Предел прочности при растяжении $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | Относительное удлинение δ в % | Твердость НВ в кг/мм ² | | |
| не менее | | | | | | | | |
| Латунь марганцовистая | ЛМц 58-2 | Прутки \varnothing 35—100 мм Прутки \varnothing 5—40 мм Прутки \varnothing 10—120 мм Листы, полосы и ленты | Катаные | 43 | 25 | — | ГОСТ 2060-48 То же " | |
| | | | Тянутые | 45 | 25 | — | | |
| | | | Прессованные | 40 | 25 | — | | |
| | | | Мягкие | 39 | 30 | — | } ГОСТ 2208-49 и ГОСТ 931-52 | |
| | | | Полутвердые | 45 | 25 | — | | |
| Твердые | 60 | 3 | — | | | | | |
| Томпак оловянистый | ЛО 90-1 | Полосы и ленты | Мягкие | 27 | 35 | — | ЦМТУ 511-41 | |
| | | | Полутвердые | 34 | 7 | — | | |
| | | | Твердые | 40 | — | — | | |
| Латунь оловянистая | ЛО 70-1 | Трубы | Тянутые | 30 | 38 | — | ГОСТ 494-52 То же " | |
| | | | Полутвердые | 35 | 30 | — | | |
| | | | Прессованные | 30 | 38 | — | | |
| Латунь оловянистая | ЛО 62-1 | Прутки \varnothing 5—40 мм Прутки \varnothing 10—120 мм Листы и полосы То же | Тянутые | 40 | 15 | — | ГОСТ 2060-48 То же | |
| | | | Прессованные | 37 | 20 | — | | |
| | | | Холоднокатанные твердые | 40 | 5 | — | ГОСТ 931-52 То же | |
| | | | Горячекатанные | 35 | 20 | — | | |
| Латунь свинцовистая | ЛС 74-3 | Полосы и ленты | Мягкие | 30 | 45 | — | ЦМТУ 515-41 | |
| | | | Полутвердые | 35—45 | 10 | — | | |
| Твердые | 60 | Не более 5 | — | | | | | |
| Латунь свинцовистая | ЛС 64-2 | Прутки \varnothing 5—20 мм Полосы матричные | Тянутые | 60 | 0,5 | — | ГОСТ 2060-48 ЦМТУ 3429-53 | |
| | | | Твердые | — | — | $H_{RB} = 78-88$ | | |
| Латунь свинцовистая | ЛС 63-3 | Прутки Ленты и полосы | Тянутые | 60 | 0,5 | — | } ГОСТ 2060-48 ГОСТ 4442-48 | |
| | | | Мягкие | 30 | 40 | — | | |
| | | | Полутвердые | 35—44 | — | — | | |
| | | | Твердые | 44—54 | 6 | — | | |
| | | | Особо твердые | 64 | ≤ 5 | — | | |
| | | | Мягкая | — | — | — | | |
| | | Проволока | Полутвердая | \varnothing 0,55—0,8 мм | 31 | 32 | — | } ЦМТУ 684-41 |
| | | | | \varnothing 0,9—4,0 " | 30 | 35 | — | |
| | | | | \varnothing 4,5—12,0 " | 30 | 36 | — | |
| | | | | \varnothing 0,55—0,8 мм | 40—56 | 3 | — | |
| | | | | \varnothing 0,9—4,0 " | 40—56 | 5 | — | |
| | | | | \varnothing 4,5—12,0 " | 46—56 | 5 | — | |
| Проволока | Твердая | \varnothing 0,55—0,8 мм | 58—75 | 0,5 | — | | | |
| | | \varnothing 0,9—4,0 " | 68—75 | 0,5 | — | | | |
| | | \varnothing 4,5—12,0 " | 60—75 | 0,5 | — | | | |

Продолжение табл. 16

| Сплав | Марка сплава | Вид изделия | Состояние материала | Механические свойства | | | ГОСТ и ТУ | |
|------------------------------|--------------|--------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------|----------|
| | | | | Предел прочности при растяжении $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | Относительное удлинение δ в % | Твердость НВ в кг/мм ² | | |
| | | | | | | | | не менее |
| Латунь свинцовистая | ЛС 60-1 | Прутки | Тянутые | 40 | 25 | — | ЦМТУ 670-41 | |
| Латунь свинцовистая | ЛС 59-1 | Прутки \varnothing 35—100 мм | Катаные | 40 | 12 | — | ГОСТ 2060-48 | |
| | | Прутки \varnothing 5—40 мм | Тянутые | 40 | 12 | — | То же | |
| | | Прутки \varnothing 10—120 мм | Прессованные | 37 | 18 | — | " | |
| | | Профили | " | 33 | 15 | — | ЦМТУ 1317-46 | |
| | | Трубы | " | 40 | 20 | — | ГОСТ 494 52 | |
| | | Ленты и полосы | Холоднокатаные | | | | | |
| | | | Мягкие | 35 | 25 | — | ГОСТ 931-52 | |
| | | | Твердые | 45 | 5 | — | То же | |
| | | | Горячекатаные | 35 | 25 | — | " | |
| | | | Мягкая | | | | | |
| Латунь железистосвинцовистая | ЛЖС 58-1-1 | Прутки \varnothing 35—100 мм | Катаные | 45 | 10 | — | ГОСТ 2060-48 | |
| | | Прутки \varnothing 5—40 мм | Тянутые | 45 | 10 | — | То же | |
| | | Прутки \varnothing 10—120 мм | Прессованные | 30 | 20 | — | " | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

ОЛОВЯННЫЕ БРОНЗЫ

Оловянной бронзой называется сплав меди с оловом, содержащий также добавки свинца, фосфора и цинка. Эта бронза имеет ограниченное применение, так как изысканы более прочные и экономичные сплавы.

Различают оловянную бронзу литейную и обрабатываемую давлением.

Олово повышает твердость и прочность сплава и резко снижает пластичность.

В технических сплавах олово содержится в пределах 3—14%.

Свинец резко улучшает антифрикционные свойства оловянной бронзы, но при значительном содержании вызывает явление расслоения, вследствие чего требуется применение особых методов литья. Фосфор энергично влияет

на свойства оловянной бронзы и добавляется в ограниченных количествах.

Цинк улучшает некоторые технологические свойства бронзы.

Вредными примесями являются сера, кремний, алюминий, висмут, магний и кислород в виде SnO_2 .

Оловянная бронза коррозионноустойчива в отношении атмосферы, морской воды, растворов едкого кали, сульфатов натрия, соды (до 5%); малоустойчива в отношении бисульфата натрия; совершенно нестойка к действию минеральных кислот (HCl , HNO_3), аммиака и растворов сернокислых солей.

Химический состав, физические и механические свойства оловянной бронзы и области ее применения приведены в табл. 17—22.

Таблица 17

Бронзы оловянные вторичные литейные (ГОСТ 613-50) и в чушках (ГОСТ 614-50)

| Марка сплава | Химический состав в % (Св — остальное) | | | | | | Примесей не более: | Примерное назначение | | |
|------------------|----------------------------------------|-----------|-----------|---------|------|------|--------------------|----------------------|----|-------|
| | Sn | Zn | Pb | Ni | Al | | | | Si | Всего |
| | | | | | Al | Si | | | | |
| Бр. ОЦСН 3-7-5-1 | 2,5—4,5 | 6,0—9,5 | 3,0—6,0 | 0,5—1,5 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 1,3 | | |
| Бр. ОЦС 3-12-5 | 2,0—4,0 | 8,0—15,0 | 3,0—6,0 | — | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 1,3 | | |
| Бр. ОЦС 5-5-5 | 4,0—6,0 | 4,0—6,0 | 4,0—6,0 | — | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 1,3 | | |
| Бр. ОЦС 6-6-3 | 5,0—7,0 | 2,0—4,0 | 4,0—6,0 | — | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 1,3 | | |
| Бр. ОЦС 4-4-17 | 3,8—5,5 | 2,0—6,0 | 14,0—20,0 | — | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 1,3 | | |
| Бр. ОЦС 3,5-6-5 | 3,0—4,5 | 5,0—7,0 | 4,0—6,0 | — | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 1,3 | | |
| Бр. ОЦСН 3-8-4-1 | 2,5—4,5 | 7,0—10,0 | 3,0—6,0 | 0,5—1,5 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 1,1 | | |
| Бр. ОЦС 3-13-4 | 2,0—4,0 | 10,0—16,0 | 3,0—6,0 | — | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 1,1 | | |
| Бр. ОЦС 5-6-5 | 4,0—6,0 | 4,5—7,0 | 4,0—6,0 | — | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 1,1 | | |
| Бр. ОЦС 6-7-3 | 5,0—7,0 | 6,0—9,0 | 2,0—4,0 | — | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 1,1 | | |
| Бр. ОЦС 4-8-5 | 3,5—5,0 | 6,0—10,0 | 4,0—6,0 | — | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 1,1 | | |

Примечания: 1. В бронзе Бр. ОЦСН 3-7-5-1, Бр. ОЦС 3-12-5, Бр. ОЦСН 3-8-4-1 и Бр. ОЦС 3-13-4 сумма примесей кремния и алюминия не должна превышать 0,02%. Если бронза этих марок не предназначается для отливок деталей, работающих под гидравлическим давлением, то по соглашению сторон допускается содержание примеси алюминия до 0,05% и кремния до 0,05%.
 2. Никель во всех марках бронзы, кроме марки Бр. ОЦСН 3-7-5-1, допускается до 1,5% за счет меди. Кроме перечисленных примесей, во всех марках сплавов допускаются примеси (не более) 0,5% Sb и 0,4% Fe.
 3. Методы химического анализа по ГОСТ 1953-54.

Таблица 17а

Физические свойства вторичных литейных оловянных бронз [11]; [13]; [14]

| Марка сплавов | Температура плавления в °С | Плотность в г/см ³ | Коэффициент линейного расширения α · 10 ⁶ | Теплопроводность λ в кал/см·сек °С | Удельное электросопротивление ρ в ом·мм/м | Модуль нормальной упругости E в кг/мм ² |
|------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Бр. ОЦСН 3-7-5-1 | 1022 | 8,7 | — | — | 0,085 | 8500 |
| Бр. ОЦС 3-12-5 | 998 | 8,69 | — | — | 0,075 | 8400 |
| Бр. ОЦС 5-5-5 | 970 | 8,8 | 19,1 | — | 0,08 | 9450 |
| Бр. ОЦС 6-6-3 | 967 | 8,82 | 17,1 | 0,224 | 0,09 | 9000 |

Механические свойства и технологические характеристики вторичной литейной оловянной бронзы [11]; [13]; [14]

Таблица 18

| Марки сплавов | Механические свойства | | | | | Антифрикционные свойства ¹ | | Технологические характеристики | |
|------------------|---------------------------------------|--------------|------------|---------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | δ в % | ψ в % | $\tau_{в ср}$ в кг/мм ² | a_H в кг/мм ² | Коэффициент трения | Износ бронзы в мм/мм ² км | Температура литья в °С | Жидкотекучесть в см |
| Бр. ОЦСН 3-7-5-1 | 18 21 | 8 5 | 18 — | 18 — | 3 — | — | — | 1170 | 50 |
| Бр. ОЦС 3-12-5 | 18 20 | 8 5 | 18 — | 18 — | 2,6 — | — | — | 1160 | 60 |
| Бр. ОЦС 5-5-5 | 15 18 | 6 4 | 12 — | 21 — | 2,6 — | 0,013 0,16 | 0,06 403 | 1150 | 40 |
| Бр. ОЦС 6-6-3 ** | 15 18 | 6 4 | 17 — | 15—22 — | 1,7—3 — | 0,009 0,16 | 0,041 367 | 1150 | 40 * |
| Бр. ОЦС 4-4-17 | 15 — | 5 — | 17 — | 17 — | 1,7 — | 0,01 0,16 | 0,016 155 | 1150 | — |
| Бр. ОЦС 3,5-6-5 | 15 18 | 6 4 | 12 — | 16 — | — | — | — | 1160 | — |

Примечания: 1. Механические свойства приведены для образцов диаметром в окончательной обработке 10 мм и расчетной длиной 50 мм.

2. Твердость для сплавов всех марок, указанных в табл. 18, $H_B = 60$ кг/мм².

3. Показатели механических свойств, указанные над чертой, относятся к литью в землю, под чертой — к литью в кокиль.

4. Показатели антифрикционных свойств, указанные над чертой, относятся к работе со смазкой, под чертой — без смазки.

* Линейная усадка 1,6%. ** Предел текучести $\sigma_T = 8 \pm 10$ кг/мм².¹ См. примечание к табл. 9.

Бронза оловянная, обрабатываемая давлением (по ГОСТ 5017-49)

Таблица 19

| Сплав | Марка сплава | Химический состав в % (Cu — остальное) | | | | | | | | Всего | Примерное назначение |
|-----------------------------------|-----------------|----------------------------------------|----------|---------|---------|-------------------|------|-------|------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| | | Sn | P | Zn | Pb | Примесей не более | | | | | |
| | | | | | | Fe | Pb | Si | P | | |
| Бронза оловянно-фосфорная | Бр. ОФ 6,5-0,15 | 6—7 | 0,1—0,25 | — | — | 0,02 | 0,02 | 0,002 | — | 0,1 | Ленты, полосы, прутки, проволока для пружин, подшипниковые детали |
| То же | Бр. ОФ 6,5-0,4 | 6—7 | 0,3—0,4 | — | — | 0,02 | 0,02 | 0,002 | — | 0,1 | Проволока для металлических сеток в целлюлозно-бумажной промышленности |
| • | Бр. ОФ 4-0,25 | 3,5—4,0 | 0,2—0,3 | — | — | 0,02 | 0,02 | 0,002 | — | 0,1 | Трубки, применяемые в аппаратуростроении и для контрольно-измерительных приборов |
| Бронза оловянно-цинковая | Бр. ОЦ 4-3 | 3,5—4,0 | — | 2,7—3,3 | — | 0,05 | 0,02 | 0,002 | 0,03 | 0,2 | Ленты, полосы, прутки, проволока для пружин и для аппаратуры химической промышленности |
| Бронза оловянно-цинково-свинцовая | Бр. ОЦС 4-4-2,5 | 3—5 | — | 3—5 | 1,5—3,5 | 0,05 | — | — | 0,03 | 0,2 | Ленты и полосы для прокладок во втулках и подшипниках |
| То же | Бр. ОЦС 4-4-4 | 3—5 | — | 3—5 | 3,5—4,5 | 0,05 | — | — | 0,03 | 0,2 | То же |

Примечания: 1. Примеси сурьмы, висмута, алюминия, а также серы и магния допускаются не более 0,002% каждой. 2. В бронзе Бр. ОФ 6,5-0,15 и Бр. ОФ 4-0,25 допускается цинка до 0,3% и никеля до 0,2% за счет меди. 3. В бронзе Бр. ОЦ 4-3, применяемой для изготовления антимагнитных деталей, железа допускается не свыше 0,02%. 4. Оловянная бронза применяется только в установленном Советом Министров СССР порядке. 5. Методы химического анализа по ГОСТ 1953-54.

Таблица 20
Механические свойства оловянной бронзы, обрабатываемой давлением [13]; [17]

| Марка сплава | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | σ_T в кг/мм ² | δ в % | ψ в % | a_K в кг/мм ² | H_B в кг/мм ² | Коэффициент трения ¹ | |
|----------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-------------------|------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|------------|
| | | | | | | | со смазкой | без смазки |
| Бр. ОФ 6,5-0,4 . . . | 30 ** | 14 * | 38 | 10 * | 5—6 * | 75—90 * | 0,01 | 0,12 |
| Бр. ОФ 4-0,25 . . . | 34 ** | 54,6 *** | 52 | — | — | 170 *** | — | — |
| Бр. ОЦ 4-3 | 55 *** | 6,5 * | 10 *** и 36 ** | 40 * | 4 * | 60—70 * | — | — |
| Бр. ОЦС 4-4-2,5 . . | 31 ** | 13 ** | 46 ** | 34 ** | 3,65 ** | 62 ** | 0,016 | 0,26 |
| Бр. ОЦС 4-4-4 . . . | 30 ** | — | 35 ** | — | — | 62 ** | — | — |

* Литой.
** Обработанный мягкий.
*** Обработанный твердый.
¹ См. примечание к табл. 9.

Таблица 20а
Физические свойства оловянных бронз, обрабатываемых давлением [13]; [17]

| Марка сплава | Температура плавления в °С | Плотность в г/см ³ | Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ | Теплопроводность λ в кал/см·сек °С | Удельное электро-сопротивление ρ в ом мм ² /м | Модуль нормальной упругости $E \cdot 10^{-3}$ в кг/мм ² |
|-----------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Бр. ОФ 6,5-0,4 | 995 | 8,65 | 17,1 | 0,12 | 0,176 | 10,0 |
| Бр. ОФ 4-0,25 | 1060 | 8,9 | 17,6 | 0,20 | — | 10,0 |
| Бр. ОЦ 4-3 | 1045 | 8,8 | 18,0 | 0,20 | 0,087 | 8,5 * и 12,4 ** |
| Бр. ОЦС 4-4-2,5 | 1018 | 8,8—9,02 | 18,2 | 0,20 | 0,0877 | 7,5 |
| Бр. ОЦС 4-4-4 | — | 8,9 | 19,1 | — | — | — |

* Литой.
** Обработанный твердый.

Таблица 21
Технологические характеристики оловянной бронзы, обрабатываемой давлением [13]; [17]

| Марка сплава | Температура в °С | | | | Жидкотекучесть в см | Линейная усадка в % |
|---------------------------|------------------|-------------------|--------|-------------------------|---------------------|---------------------|
| | литья | горячей обработки | отжига | начала рекристаллизации | | |
| Бр. ОФ 6,5-0,4 | 1200—1300 | 720—780 | 650 | 355—370 | 117 | 1,45 |
| Бр. ОЦ 4-3 | 1250—1270 | 750 | 600 | 400 | — | 1,46 |
| Бр. ОЦС 4-4-2,5 | 1180—1190 | Не обрабатывается | 600 | 400 | 20 | 1,46—1,59 |

Механические свойства полуфабрикатов из оловянной бронзы, обрабатываемой давлением

| Марка сплава | Изделие | Состояние материала | Механические свойства | | ГОСТ и ТУ |
|-----------------|---------------------------------|---------------------|---------------------------------------|--------------|----------------------------------------------|
| | | | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | δ в % | |
| | | | не менее | | |
| Бр. ОФ 6,5-0,15 | Полосы | Мягкие | 30 | 38 | } ГОСТ 1761-50 |
| | | Твердые | 50 | 3 | |
| | Лента | Особо твердые | 60 | 1 | |
| | | Мягкая | 30 | 38 | |
| | | Твердая | 55 | 5 | |
| Особо твердая | 65 | 2 | | | |
| Бр. ОФ 6,5-0,4 | Проволока | Твердая | 90 | 0,5 | } ЦМТУ 3352-53 ЦМТУ 3383-53 |
| | Лента | " | 70—80 | Не более 5 | |
| Бр. ОФ 4-0,25 | Трубки манометрические То же | Мягкие | 33 | 40 | } ГОСТ 2622-44 ЦМТУ 315-41 ЦМТУ 302-41 |
| | | Твердые | 50 | 2 | |
| | | Мягкие | 33 | 40 | |
| | | Твердые | 60 | 1,5 | |
| Бр. ОЦ 4-3 | Лента | Мягкая | 30 | 38 | } ГОСТ 1761-50 |
| | | Твердая | 55 | 5 | |
| | Полосы | Особо твердая | 65 | 2 | |
| | | Мягкие | 30 | 38 | |
| | | Твердые | 50 | 3 | |
| | Прутки Ø 5—12 мм | Особо твердые | 60 | 1 | } ГОСТ 6511-53 |
| | | Тянутые | 44 | 10 | |
| | | " | 38 | 15 | |
| | Проволока Ø 0,1—2,5 мм | " | 34 | 16 | } ГОСТ 5221-50 |
| | | " | 32 | 16 | |
| | | " | 90 | 0,5 | |
| | Ø 2,8—4,0 " | " | 85 | 1,0 | } ГОСТ 5221-50 |
| | | " | 83 | 1,0 | |
| " | | 83 | 1,0 | | |
| " | | 78 | 2,0 | | |
| Бр. ОЦС 4-4-2,5 | Лента и полосы | Мягкие | 30 | 35 | } ЦМТУ 512-41 |
| | | Полутвердые | 43—49 | 10 | |
| | | Твердые | 55 | 5 | |

БРОНЗЫ БЕЗОЛОВЯННЫЕ

Сплав на основе меди с добавками алюминия, марганца, кремния, бериллия и др., не содержащий олова, называется *специальной бронзой*.

Сплав отличается высокой прочностью, антифрикционностью, коррозионной стойкостью и является полно-

ценным заменителем оловянной бронзы.

Наибольший интерес представляет алюминиевая бронза. С повышением содержания алюминия резко возрастает твердость сплава и понижается вязкость. Никель сильно повышает механические свойства алюминиевой бронзы и, сдвигая с понижением температуры

область твердого раствора в сторону медного угла, обуславливает возможность облагораживания сплава термообработкой. Железо повышает прочность и твердость, измельчает структуру и уничтожает явление самоотпуска. Марганец увеличивает жаропрочность (Бр. Мц5) и повышает прочность, пластичность и коррозионную стойкость алюминиевой бронзы.

Кремнистая бронза с добавками никеля весьма сильно упрочняется термообработкой в результате выделения дисперсных силицидов никеля.

Бериллий и хром под влиянием термообработки энергично повышают механические и физические свойства Cu — Ве и Cu — Сг бронзы и обычно содержатся в небольших количествах.

Примеси мышьяка, сурьмы, олова, кремния, свинца и фосфора сильно снижают механические и технологические свойства алюминиевой и бериллиевой бронзы. Свинец вводится лишь в литейную подшипниковую алюминиевую бронзу Бр. АЖС 7-1,5-1,5. Цинк допускается в алюминиевой бронзе в пределах 0,5—1,5% (не более), так как понижает технологические и антифрикционные свойства сплава.

Алюминиевая бронза по коррозионной стойкости значительно превосходит оловянистую бронзу, латунь и легкие сплавы.

Физические, механические и технологические свойства безоловянной бронзы, а также область ее применения приведены в табл. 23—27.

Таблица 23

Технологические характеристики безоловянной бронзы, обрабатываемой давлением [5]; [6]; [13]

| Марка сплава | Температура в °С | | | Обрабатываемость резанием в % | Жидкотекучесть в см | Линейная усадка в % |
|-------------------------------|------------------|-------------------|---------------|-------------------------------|---------------------|---------------------|
| | литья | горячей обработки | отжига | | | |
| Бр. А5 | 1150—1190 | 800—860 | 600—700 | 20 | 101 | 2,49 |
| Бр. А7 | 1140—1160 | 800—850 | 650—700 | 20 | 80 | — |
| Бр. АМц 9-2 | 1120—1150 | 800—850 | 650—750 | 20 | 48 | 1,7 |
| Бр. АЖ 9-4 | 1120—1150 | 750—850 | 700—750 | 20 | 70 | 2,49 |
| Бр. АЖМц 10-3-1,5 | 1120—1150 | 775—825 | 650—750 | 20 | 70 | 2,4 |
| Бр. АЖН 10-4-4 | 1120—1200 | 850—900 | 700—750 | 20 | 66—85 | 1,8 |
| Куниаль А МНА 13-3 | 1250—1300 | 900—1000 | 900 *; 500 ** | — | — | — |
| Куниаль Б МНА 6-1,5 | 1200—1250 | 850—900 | 900 *; 500 ** | — | — | — |
| Бр. Мц5 | 1110—1130 | 800—850 | 700—750 | — | 25 | 1,96 |
| Бр. МН 95-5 | 1200 | 1000—1050 | 650—750 | — | — | — |
| Бр. КМц 3-1 | 1080—1100 | 800—850 | 700—750 | 30 | — | 1,6 |
| Бр. КН 1-3 | 1170—1200 | 890—910 | 850 *; 450 ** | — | — | — |
| Бр. Б2 и Бр. Б2,5 | 1050—1080 | 760—780 | 780 *; 320 ** | 20 *** | — | — |
| Бр. Кд1 | 1150 | 780—800 | 950—1000 * | — | — | — |
| Бр. Х0,5 | 1120—1150 | 900—950 | 400—450 ** | 20 *** | — | — |

* Закалка.

** Отпуск.

*** Не термообработанная.

Безоловянная бронза, обрабатыва

| Наименование | Марка | Химический состав в % (Cu — остальное) | | | | | | | |
|------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------------------|---------|---------|-----------|----------|---------|---------|---------|
| | | Al | Fe | Mn | Ni | Si | Be | Cr | Cd |
| Бронза алюми- ниевая | Бр. А5 | 4—6 | — | — | — | — | — | — | — |
| | Бр. А7 | 6—8 | — | — | — | — | — | — | — |
| Бронза алюми- ниевомарганцевая . | Бр. АМц 9-2 | 8—10 | — | 1,5—2,5 | — | — | — | — | — |
| Бронза алюми- ниевожелезная . | Бр. АЖ 9-4 | 8—10 | 2—4 | — | — | — | — | — | — |
| Бронза алюми- ниевозелезомарган- цевая | Бр. АЖМц 10-3-1,5 | 9—11 | 2—4 | 1—2 | — | — | — | — | — |
| Бронза алюми- ниевозелезоникеле- вая | Бр. АЖН 10-4-4 | 9,5—11 | 3,5—5,5 | — | 3,5—5,5 | — | — | — | — |
| Бронза алюми- ниевоникелевая (ку- ниаль А) | МНА 13-3 | 2,3—3,0 | — | — | 12,0—13,0 | — | — | — | — |
| Бронза алюми- ниевоникелевая (ку- ниаль Б) | МНА 6-1,5 | 1,2—1,8 | — | — | 5,5—6,5 | — | — | — | — |
| Бронза марганце- вая | Бр. Мц5 | — | — | 4,5—5,5 | — | — | — | — | — |
| Бронза никелевая | Бр. МН 95-5 | — | — | — | 4,4—5 | — | — | — | — |
| Бронза кремне- вомарганцевая . | Бр. КМц 3-1 | — | — | 1—1,5 | — | 2,75—3,5 | — | — | — |
| Бронза кремне- воникелевая . . | Бр. КН1-3 | — | — | 0,1—0,4 | 2,4—3,4 | 0,6—1,1 | — | — | — |
| Бронза бериллие- вая | Бр. Б2 | — | — | — | 0,2—0,5 | — | 1,9—2,2 | — | — |
| | Бр. Б2,5 | — | — | — | 0,2—0,5 | — | 2,3—2,6 | — | — |
| Бронза кадмиевая | Бр. Кд1 | — | — | — | — | — | — | — | 0,9—1,2 |
| Бронза хромовая | Бр. Х0,5 | — | — | — | — | — | — | 0,4—1,0 | — |

Примечания: 1. В бронзе марки Бр. А5, идущей для изготовления монетной ленты, пределы
2. Допускается в бронзе марки Бр. АЖН 10-4-4, обрабатываемой давлением, содержание алюминия
3. Химический состав куниалей А и Б дан по ГОСТ 492-52, бронзы медноникелевой МН95-5 по
ГОСТ 4134-48, бронзы хромовой по ЦМТУ 3299-53.

4. Методы химического анализа по ГОСТ 1987-43.

5. Примеси, не перечисленные в табл. 24, учитываются в общей сумме примесей.

6. Содержание цинка в сплаве Бр. АЖМц 10-3-1,5 допускается до 1% в тех случаях, когда данный
скается до 1,25%.

7. Содержание свинца в бронзе Бр. АЖМц 10-3-1,5 допускается до 0,3% при применении для

Таблица 24

емая давлением (по ГОСТ 493-54)

| Примесей не более | | | | | | | | | | | | Примерное назначение |
|-------------------|----------------|------------|--------------|------------------|------------|----------------|--------------|--------------|-----------------------|------------------|------------|-------------------------------------|
| As | Sb | Sn | Si | Al | Ni | Pb | P | Fe | Zn | Mn | Всего | |
| 0,01 0,01 | 0,002 0,002 | 0,1 0,1 | 0,1 0,1 | — — | 0,5 0,5 | 0,03 0,03 | 0,01 0,01 | 0,5 0,5 | 0,5 0,5 | 0,5 0,5 | 1,6 1,6 | Лента, полосы То же |
| 0,01 | 0,002 | 0,1 | 0,1 | — | 0,5 | 0,03 | 0,01 | 0,5 | 1,0 | — | 1,7 | Прутки, полосы, лента |
| 0,01 | 0,002 | 0,1 | 0,1 | — | 0,5 | 0,01 | 0,01 | — | 1,0 | 0,5 | 1,7 | Прутки, поковки |
| 0,01 | 0,002 | 0,1 | 0,1 | — | 0,5 | 0,03 | 0,01 | — | 0,5 | — | 0,75 | Прутки, трубы, поковки |
| 0,01 | 0,002 | 0,1 | 0,1 | — | — | 0,02 | 0,01 | — | 0,3 | 0,3 | 0,8 | То же |
| — | — | — | — | — | — | 0,002 | — | 1,0 | — | 0,5 | 1,9 | Прутки |
| — | — | — | — | — | — | 0,002 | — | 0,5 | — | 0,2 | 1,1 | Полосы |
| 0,01 | 0,002 | 0,1 | 0,1 | — | 0,5 | 0,03 | 0,01 | 0,35 | 0,4 | — | 0,9 | Листы |
| 0,01 | 0,005 | — | Серы 0,01 | Висмута 0,002 | — | 0,01 | 0,01 | 0,1 | Угле- рода 0,03 | Кислорода 0,1 | 0,7 | Фасонные прутки |
| 0,002 | 0,002 | 0,25 | — | — | 0,2 | 0,03 | 0,05 | 0,3 | 0,5 | — | 1,1 | Прутки, поковки |
| — | — | 0,1 | — | 0,02 | — | 0,15 | 0,01 | 0,1 | 0,1 | — | 0,4 | То же |
| — | — | — | 0,15 0,15 | 0,15 0,15 | — | 0,005 0,005 | — | 0,15 0,15 | — | — | 0,5 0,5 | Лента, полосы, прутки, проволока |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | Прутки, полосы |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0,01 | — | 0,3 | То же |

по содержанию алюминия устанавливаются 4,5—5,5% до 11,5%, при этом содержание железа и никеля должно быть не менее 4% каждого. ВТУ ГЦМО 562-48, бериллиевой бронзы Бр. Б2 и Бр. Б2,5 по ГОСТ 1789-50, бронзы кадмиевой по

сплав не применяется как антифрикционный, причем общая сумма примесей в этом случае допустимого литья, причем общая сумма примесей допускается до 1%.

Таблица 25

Механические свойства безоловянной бронзы, обрабатываемой давлением [5]; [6]; [12]; [13]; [14]; [17]

| Марка сплава | E в кг/мм ² | | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | | σ_T в кг/мм ² | | $\sigma_{сy}$ в кг/мм ² | | δ в % | | ϕ в % (мягкая) | ρ_H в кг/мм ² (мягкая) | H_B в кг/мм ² | | Коэффициент трения ¹ | | Коррозионная стойкость. Потеря в весе в г/мм ² /сутки | |
|-----------------------|--------------------------|---------|------------------------------------|---------|---------------------------------|---------------------|------------------------------------|---------|--------------|---------|---------------------|----------------------------------------|----------------------------|------------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--|
| | Мягкая | Твердая | Мягкая | Твердая | Мягкая | Твердая | Мягкая | Твердая | Мягкая | Твердая | | | со смазкой | без смазки | Морская вода | 10% H ₂ SO ₄ | | |
| Бр. А5 | 12 000 | 38 | 16 | 54 | 13 | 50 | 65 | 5 | 75 | 11,0 | 75 | 200 | 0,007 | 0,30 | 0,55 | 1,2 | | |
| Бр. А7 | 12 000 | 47 | 25 | — | 10 | 70 | 70 | 3 | 35 | 15** | 75 | — | 0,012 | — | — | — | | |
| Бр. АМц 9-2 | 9 200 | 45 | 60—80 | 30—50 | — | — | 20—40 | 4—5 | 35 | 9 | 120 | 160—180 | 0,006 | 0,18 | — | — | | |
| Бр. АЖ 9-4 | 11 600 | — | 50—70 | 13** | 11 | — | 40 | 5 | 30* | 6—7* | 110 | 160—200 | 0,004 | 0,18 | — | — | | |
| Бр. АЖМц 10-3-1,5 | 10 000 | 40—50 | 60—70 | 21 | — | — | 20—30 | 9—12 | 55 | 6—8** | 125—140 | 160—200 | 0,012 | 0,21 | 0,2—0,25 | 27 | | |
| Бр. АЖН 10-4-4 | 11 500 | — | 77 | 33 | — | Полу-твердая (35,8) | 35—45 | 9—15 | 45 | 3—4 | 140 | 180—220 | 0,011 | 0,23 | 0,18 | 9,58 | | |
| Купаль А | — | 38 | — | — | — | — | — | — | — | 5,5 | 75 | 220* | — | — | — | — | | |
| МНА 13-3 | — | — | — | — | — | — | 30—40 | 4* | 80 | 12 | 70—90 | 200* | — | — | — | — | | |
| Купаль Б | — | 36—45 | 8 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | | |
| МНА 6-1,5 | — | — | 8 | 45 | 5 | 35 | 40 | 2 | 50 | 20** | 80 | 160 | 0,013 | 0,7 | — | 3,0 | | |
| Бр. Мц5 | 10 500 | 30 | 50—60 | 37 | 23 | 42 | 55 | 7 | 70 | — | 40 | 115 | — | — | — | — | | |
| Бр. МН 95-5 | — | — | 14 | 65 | 12 | 64 | 50—60 | 1—5 | 75 | 13—17 | 80 | 180 | 0,013 | 0,4 | — | — | | |
| Бр. КМц 3-1 | 10 500 | 35—40 | 65—75 | 14 | — | — | 45 | 8 | 28 | 4—10 | — | 150—200 | 0,017 | 0,45 | — | — | | |
| Бр. КН 1-3 | — | — | — | 52 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | | |
| Бр. Б2 | 12 630* | 50 | 87* | 11 | 74* | 25* | 46 | 2—4* | — | 14,3 | 81 | 315* | — | — | — | — | | |
| Бр. Б2,5 | 13 200* | 48 | 135* | 15,7 | 128* | 45,9* | 52 | 0,8** | — | 7,2 | 98 | 390* | — | — | — | — | | |
| Бр. Кд1 | — | — | — | — | — | — | 38 | 1,6 | — | — | 60 | 95—115 | — | — | — | — | | |
| Бр. Х0,5 | 13 800* | 23 | 48* | 40* | — | — | 30 | 11* | 40* | — | 50—70 | 130—150* | — | — | — | — | | |

Примечания: 1. Мягкий — материал отожжен при 650° С.

2. Твердый — материал деформирован на 50%.

* В термообработанном состоянии.

** Литой.

1 См. примечание к табл. 9.

Таблица 26

Физические свойства безоловянной бронзы, обрабатываемой давлением [12]; [13]; [17]

| Марка сплава | Верхняя критическая точка в °С | Плотность γ в $г/см^3$ | Коэффициент линейного расширения $\alpha_{20-100} \cdot 10^6$ | Теплопроводность λ в $кал/см \cdot сек \cdot ^\circ C$ | Удельное электрическое сопротивление ρ в $ом \cdot мм^2/м$ | Температурный коэффициент электропроводности α_{20-100} |
|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| | | | | | | |
| Бр. А5 | 1060 | 8,2 | 15,6 | 0,25 | 0,10 | 0,0016 |
| Бр. А7 | 1040 | 7,8 | 17,8 | 0,19 | 0,11 | 0,001 |
| Бр. АМц 9-2 | 1060 | 7,6 | 17,0 | 0,17 | 0,11 | — |
| Бр. АЖ 9-4 | 1040 | 7,5 | 16,2 | 0,14 | 0,12 | — |
| Бр. АЖМц | | | | | | |
| 10-3-1,5 | 1045 | 7,5 | 16,1 | 0,14 | 0,189 | — |
| Бр. АЖН 10-4-4 | 1084 | 7,46 | 17,1 | 0,18 | 0,193 | — |
| Куниаль А МНА 13-3 | 1145 | 8,5 | — | — | — | — |
| Куниаль Б МНА 6-1,5 | 1120 | 8,7 | — | — | — | — |
| Бр. Мц5 | 1047 | 8,6 | 20,4 | 0,26 | 0,197 | 0,0003 |
| Бр. МН 95-5 | 1120 | 8,7 | 16,4 | 0,31 | 0,07 | 0,0015 |
| Бр. КМц 3-1 | 1025 | 8,4 | 15,8 | 0,11 | 0,15 | — |
| Бр. КН 1-3 | 1084 | 8,85 | 18 | — | 0,046 | — |
| Бр. Б2 и Бр. Б2,5 | 955 | 8,23 | 16,6 | 0,20—0,25 * | 0,1—0,068 | — |
| Бр. Кд1 | 1076 | 8,9 | — | 0,82 | 0,0207 | 0,0031 |
| Бр. Х0,5 | 1084 | 8,9 | — | 0,8 | 0,03—0,019** | 0,0023—0,0033** |

* Первая цифра — для закаленного сплава, вторая — для облагороженного.
 ** Первая цифра — для деформированного сплава, вторая — для облагороженного.

Таблица 27

Механические свойства полуфабрикатов из безоловянной бронзы

| Сплав | Марка сплава | Вид изделия | Состояние материала | Механические свойства | | | ГОСТ и ТУ |
|-----------------------------|------------------------|--------------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------|
| | | | | $\sigma_{вр}$ в $кг/мм^2$ | δ в % не менее | H_B в $кг/мм^2$ | |
| Бронза алюминиевая | Бр. А5 | Полосы | Твердые | — | — | 90 | ЦМТУ 173-41 ЦМТУ 164-41 ЦМТУ 530-41 ГОСТ 1048-49 То же |
| | Бр. А7 | Лента | " | 60 | 3,5 | — | |
| | | " | " | 60 | 2,5 | — | |
| | | " | Термически обработанная | 60 | 10 | — | |
| Бр. АЖ 9-4 | | | | 65 | 5 | — | |
| Бронза алюминевомарганцевая | Бр. АМц 9-2 | Полосы и лента | Холоднокатаные: | 45 | 18 | — | ГОСТ 1595-47 То же |
| | | То же | мягкие | 60 | 5 | — | |
| | | | твердые | 45 | 15 | — | |
| | | Прутки | Прессованные | 50 | 15 | — | ГОСТ 1628-48 То же |
| | | | $\varnothing 25-45$ мм | 48 | 20 | — | |
| | | | $\varnothing 50-120$ мм | 55 | 12 | — | |
| Прутки | $\varnothing 5-22$ мм | 55 | 15 | — | | | |
| Прутки | $\varnothing 25-30$ мм | 55 | 15 | — | | | |
| Бронза алюминевожелезная | Бр. АЖ 9-4 | Прутки $\varnothing 16-120$ мм | Прессованные | 55 | 15 | 110—180 | ГОСТ 1628-48 |

| Сплав | Марка сплава | Вид изделия | Состояние материала | Механические свойства | | | ГОСТ и ТУ |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------------|
| | | | | $\sigma_{0,2}$ в кг/мм ² | δ в % не менее | НВ в кг/мм ² | |
| Бронза алюминий-железо-марганцевая | Бр. АЖМц 10-3-1,5 | Прутки Ø 16—120 мм Трубы | Прессованные " | 60 | 12 | 129—171 | ГОСТ 1628-48 |
| | | | | 60 | 12 | 129—171 | ГОСТ 1208-54 |
| Бронза алюминий-железо-никелевая | Бр. АЖН 10-4-4 | Прутки Ø 30—120 мм Трубы Прутки | Прессованные " | 65 | 5 | 170—220 | ГОСТ 1628-48 |
| | | | | 65 65 | 5 5 | 170—220 160 | ГОСТ 1208-54 ЦМТУ 3038-51 |
| Куниаль А | МНА 13-3 | То же | Прессованные | 70 | 7 | — | ЦМТУ 3443-53 |
| Куниаль Б | МНА 6-1,5 | Лента и полосы | Твердые | 55 | 3 | — | МПТУ 4146-53 |
| Бронза никелевая | Бр. МН 95-5 | Трубы | Тянутые мягкие | 22—27 | 33 | — | ВТУ ГЦМО 562-48 |
| Бронза кремний-марганцевая | Бр. КМц 3-1 | Полосы | Мягкие Твердые Особо твердые | 35 | 45 | — | ГОСТ 4748-49 |
| | | | | 70 | 2 | — | |
| | | Лента | Мягкие Твердые Особо твердые | 38 | 45 | — | ГОСТ 4748-49 |
| | | | | 65 | 5 | — | |
| | | Прутки Ø 5—12 мм Ø 14—30 " | Тянутые | — | 50 | 10 | — |
| 48 | 15 | | | | — | | |
| 40 | 15 | | | | — | | |
| Проволока Ø 0,1—2,5 мм Ø 2,8—4,2 " Ø 4,5—8,0 " Ø 8,5—10,0 " | Твердая | — | 90 | 0,5 | — | ГОСТ 5222-50 | |
| | | | 85 | 1,0 | — | | |
| | | | 83 | 1,5 | — | | |
| | | | 78 | 2,0 | — | | |
| Бронза бериллиевая | Бр. Б2 | Полосы и лента толщиной 0,10—0,50 мм 0,55—6,0 Полосы и лента толщиной 0,10—0,50 мм 0,55—6,0 | Мягкие Твердые | — | — | — | ГОСТ 1789-50 |
| | | | | 30—60 | 30 | 100 | |
| | Прутки | Мягкие Наклепанные Облагороженные | 40—60 | 30 | 100 | ЦМТУ 274-41 | |
| 75—100 130—135 | | | 1,0 0,5 | 150 340—370 | | | |
| Бронза бериллиевая | Бр. Б2,5 | Проволока диаметром 0,03—12,0 | Мягкая | 40—60 | 20 | — | ЦМТУ 673-41 |
| | | | | — | — | — | |
| | | Полосы и лента толщиной 0,15—0,25 мм 0,30—1,65 " Полосы и ленты толщиной 0,15—0,25 мм 0,30—1,65 " Полосы и лента толщиной 0,3—0,50 мм 0,55—1,65 мм | Мягкие — Твердые Облагороженные | 40—60 | 25 | — | ГОСТ 1789 50 |
| | | | | 70 | 1,5 | — | |
| 120 | 1,0 | — | 120 | 1,0 | — | | |

Продолжение табл. 27

| Сплав | Марка сплава | Вид изделия | Состояние материала | Механические свойства | | | ГОСТ и ТУ |
|--------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------|
| | | | | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | δ в % не менее | H_B в кг/мм ² | |
| Бронза кремневоникелевая | Бр. КН 1-3 | Прутки $\varnothing 20-80$ мм | Прессованные | 45 | 12 | — | ГОСТ 1628-48 |
| Бронза кадмиевая | Бр. К1 | Полосы профильные Прутки | — | — | — | 95 | ГОСТ 4134-48 |
| | | | | 40 | — | 100 | ВТУ ГЦМО 378-48 |
| Бронза хромо-вая | Бр. Х0,5 | Прутки $\varnothing 5-20$ мм Прутки $\varnothing 30-100$ мм Прутки Полосы | Тянутые | 40 | — | 55 | ЦМТУ 3299-53 |
| | | | Прессованные | 40 | — | 55 | То же |
| | | | " | 40 | — | 110 | ВТУ ГЦМО 389-49 |
| | | | " | — | — | 110 | МПТУ 4372-54 |

Литейные безоловянные бронзы отличаются высокой прочностью и хорошими антифрикционными и коррозионными свойствами. Применяются для изготовления деталей, работающих в особо тяжелых условиях (зубчатые колеса, втулки, клапаны, шестерни для сверхмощных кранов и мощных турбин, червяки, работающие в паре с азотированными или цементованными сталями,

подшипники, работающие при высоких удельных давлениях и ударных нагрузках, и др.). В силу своих особых свойств (большая объемная усадка, повышенная окисляемость при плавлении и заливке) эти бронзы применяются главным образом для литья деталей простой конфигурации.

Химический состав литейных безоловянных бронз приведен в табл. 28 и 29.

Таблица 28

Химический состав литейных безоловянных бронз (по ГОСТ 493-54)

| Марка сплава | Состав в %, Cu — остальное | | | | | | Примечание |
|-------------------------------------|----------------------------|---------|---------|----------------|-------|--------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| | Al | Fe | Mn | Ni | Si | Pb | |
| Бр. АЖС 7-1,5-1,5 | 6-8 | 1-1,5 | — | — | — | 1-1,5 | Фасонное литье Обода, втулки, заготовки, фасонные детали То же |
| Бр. АЖН 11-6-6 | 10,5-11,5 | 5-6,5 | — | 5-6,5 | — | — | |
| Бр. АЖ 9-4Л | 8-10 | 2-4 | — | — | — | — | Сплавы нестандартные |
| Бр. АЖН 10-4-4Л | 9,5-11 | 3,5-5,5 | — | 3,5-5,5 | — | — | |
| Бр. АМц 10-2 | 9-11 | — | 1,5-2,5 | — | — | — | |
| Бр. АМц 9-2Л | 8-10 | — | 1,5-2,5 | — | — | — | |
| Бр. МцНКС 5-2-1-20 Бр. СуН * 7-2 | — | — | 4-5 | 1-2 1,5-2,5 | 0,6-1 | 15-20 Сурьмы } 7-8 | |
| Бр. АЖМц 10-3-1,5 | 9-11 | 2-4 | 1-2 | — | — | — | Фасонное литье То же |
| Бр. СН 60-2,5 | — | — | — | 2,25-2,75 | — | 57-63 | Литье в кокиль |
| Бр. С30 | — | — | — | — | — | 27-33 | |

* Подшипники (при $p = 65$ кг/мм² и $v = 5$ м/сек), шестерни, венцы зубчатых колес.

Продолжение табл. 28

| Марка сплава | Примеси в % не более | | | | | | | | | | | |
|--------------------|----------------------|-------|-----|------|------|-----|------|------|------|-----|-----|-------|
| | As | Sb | Sn | Si | Al | Ni | Pb | P | Fe | Zn | Mn | Всего |
| Бр. АЖС 7-1,5-1,5 | 0,01 | 0,002 | 0,1 | 0,1 | — | — | — | 0,1 | — | 0,3 | 0,5 | 1,5 |
| Бр. АЖН 11-6-6 | 0,05 | 0,05 | 0,2 | 0,2 | — | — | 0,05 | 0,1 | — | 0,6 | 0,5 | 1,5 |
| Бр. АЖ 9-4Л | 0,05 | 0,05 | 0,2 | 0,2 | — | 1,0 | 0,1 | 0,1 | — | 1,0 | 0,5 | 2,7 |
| Бр. АЖН 10-4-4Л | 0,05 | 0,05 | 0,2 | 0,2 | — | — | 0,05 | 0,1 | — | 0,5 | 0,5 | 1,5 |
| Бр. АМц 10-2 | 0,05 | 0,05 | 0,2 | 0,2 | — | 1,0 | 0,1 | 0,1 | 1,0 | 1,5 | — | 2,8 |
| Бр. АМц 9-2Л | 0,05 | 0,05 | 0,2 | 0,2 | — | 1,0 | 0,1 | 0,1 | 1,0 | 1,5 | — | 2,8 |
| Бр. МцНКС 5-2-1-20 | 0,05 | 0,1 | 0,1 | — | 0,05 | — | — | 0,1 | 0,2 | 0,2 | — | 1,0 |
| Бр. СуН 7-2 | 0,1 | — | 0,1 | 0,02 | 0,05 | — | 0,3 | 0,05 | 0,25 | 0,1 | — | 0,95 |
| Бр. АЖМц 10-3-1,5 | 0,01 | 0,002 | 0,1 | 0,1 | — | 0,5 | 0,03 | 0,01 | — | 0,5 | — | 0,75 |
| Бр. СН 60-2,5 | — | 0,5 | 0,5 | — | — | — | — | 0,05 | 0,25 | — | — | 1,25 |
| Бр. С30 | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 0,02 | — | 0,5 | — | 0,1 | 0,25 | 0,1 | — | 0,9 |

Таблица 29

Механические свойства литых безоловянных бронз (по ГОСТ 493-54)

| Марка сплава | Состояние материала | Предел прочности при растяжении в кг/мм ² | Относительное удлинение в % | Твердость по Бринеллю в кг/мм ² |
|--------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------|
| | | не менее | | |
| Бр. АЖС 7-1,5-1,5 | Литая в землю | 30 | 18 | — |
| Бр. АЖН 11-6-6 | Литая в землю и металлическую форму | 60 | 2 | 250 |
| Бр. АЖ 9-4Л | Литая в землю | 40 | 10 | 100 |
| | Литая в металлическую форму | 50 | 12 | 100 |
| Бр. АЖН 10-4-4Л | То же | 60 | 5 | 170 |
| | | 40 | 20 | 80 |
| Бр. АМц 9-2Л | " | 25—30 | 3—5 | 100 |
| | | | | 80 |
| Бр. МцНКС 5-2-1-20 | Литая в землю | 18 | 2 | 85 |
| | | 18 | 4 | 85 |
| Бр. СуН 7-2 | в металлическую форму | 18 | 4 | 85 |
| | | 18 | 4 | 85 |
| Бр. АМц 10-2 | Литая в землю и металлическую форму | 50 | 12 | 110 |
| Бр. АЖМц 10-3-1,5 | Литая в металлическую форму | 50 | 20 | 120 |
| | | 50 | 20 | 120 |
| Бр. С30 | То же | 6 | 4 | 25 |
| Бр. СН 60-2,5 | " | 3 | 5 | 14 |

ПОДШИПНИКОВЫЕ СПЛАВЫ

В качестве подшипниковых или антифрикционных сплавов применяют оловянистые и свинцовистые баббиты, основу которых составляют мягкие пластичные металлы — олово и свинец. Микроструктура этих сплавов — твердые кристаллы в мягкой основной массе сплава.

Главными компонентами в оловянистых баббитах являются сурьма и медь. Последняя служит для предотвращения

ликвации легких кристаллов SbSn и образует химическое соединение Cu_6Sn_5 в виде игл.

Для упрочнения свинца и создания гетерогенности структуры добавляются сурьма и олово, а также щелочные и щелочноземельные металлы (натрий, кальций и др.).

Химический состав, свойства и область применения различных подшипниковых сплавов приведены в табл. 30—32.

Таблица 30

Оловянные (по ГОСТ 1320-55) и кальциевые (по ГОСТ 1209-53) баббиты

| Сплав | Марка сплава | Химический состав в % (Pb — остальное) | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------------------|--------------|----------------------------------------|---------|-----------|-----------|--------------|-----------|--------------|------|-----|------|------|---------------------------|-------|
| | | Sb | Cu | Cd | Ni | As | Sn | Прочие | Fe | As | Zn | Pb | Прочие (Bi, Sb и Mg) | Всего |
| Оловянносурьмянистый баббит | Б89 | 7,25—8,25 | 2,5—3,5 | — | — | — | Остальное | — | 0,08 | 0,1 | 0,03 | 0,35 | 0,05 | 0,55 |
| | | 10—12 | 5,5—6,5 | — | — | — | Остальное | — | 0,1 | 0,1 | 0,03 | 0,35 | 0,05 Bi | 0,55 |
| Оловянноцинковистый баббит | Б16 | 15—17 | 1,5—2,0 | — | — | 15—17 | — | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,15 | — | 0,1 Bi | 0,60 |
| Оловянносурьмянисто-цинковистый баббит | БН | 13—15 | 1,5—2,0 | 1,25—1,75 | 0,75—1,25 | 0,5—0,9 | 9—11 | — | 0,1 | — | 0,15 | — | 0,1 Bi | 0,35 |
| Оловянносурьмянисто-цинковистый баббит | БТ | 14—16 | 0,7—1,1 | — | — | 9—11 | — | 0,05—0,2 Te | 0,1 | 0,3 | 0,15 | — | 0,1 Bi | 0,60 |
| Оловянноцинковосурьмянистый баббит | Б6 | 14—16 | 2,5—3,0 | 1,75—2,25 | — | 5—6 | — | 0,6—1,0 | 0,1 | — | 0,15 | — | 0,1 Bi | 0,40 |
| Кальциевый баббит | БК | — | — | — | — | — | — | 0,85—1,15 Ca | — | — | — | — | 0,1 Bi | 0,3 |
| " | БК2 | — | — | — | — | 1,5—2,5 | — | 0,6—0,9 Na | — | — | — | — | 0,25 Sb 0,02 Mg | — |
| " | " | — | — | — | — | 0,35—0,55 Ca | — | 0,25—0,50 Na | — | — | — | — | 0,2 Bi, 0,2 Sb 0,15 Cu | 0,3 |
| " | " | — | — | — | — | 0,25—0,50 Na | — | — | — | — | — | — | 0,04—0,09 Mg | — |

Примечания: 1. По согласованию с потребителями, в баббите Б83 содержание примеси свинца может быть увеличено до 0,5%.
 2. В баббите Б16 содержание олова не должно быть больше, чем сурьмы.
 3. В баббите Б16 допускается наличие примеси кадмия до 0,1% и никеля до 0,5%.
 4. В баббите БТ допускается наличие примеси кадмия до 0,1% и никеля до 0,2%.

Физические свойства баббитов [4]; [14]; [16]

Таблица 31

| Марка баббита | Температура затвердевания в °С | | Удельный вес | Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ | Теплопроводность λ в кал/см сек °С | Модуль нормальной упругости $E \cdot 10^{-3}$ в кг/мм ² | Жидкотекучесть в см | Линейная усадка в % |
|---------------|--------------------------------|-------|--------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|
| | начала | конца | | | | | | |
| Б83 | 370 | 240 | 7,38 | 22 | 0,08 | 4,8 | 73 | 0,65 |
| Б16 | 410 | 240 | 9,29 | 24 | 0,06 | — | 51 | — |
| БН | 400 | 240 | 9,55 | — | — | — | 63 | 0,50 |
| Б6 | 416 | 232 | 9,60 | 28 | 0,05 | — | — | — |
| БС | 410 | 240 | 10,1 | 26 | 0,05 | — | — | 0,55 |
| БК | 440 | 320 | 10,5 | 36 | 0,05 | 2,2 | 79 | 0,75 |

Таблица 32

Механические свойства баббитов [4]; [14]; [16]

| Марка баббита | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | $\sigma_{всж}$ в кг/мм ² | $\sigma_{пл}$ в кг/мм ² | σ_T в кг/мм ² | σ_{-1} в кг/мм ² | δ в % | Осадка при сжатии в % | a_H в кг/см ² | H_B в кг/мм ² | Коэффициент трения ¹ | | Износ баббита при испытании в мг/см ² км | | Износ стали при испытании со смазкой в мг/см ² км |
|---------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|--------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------|------------|-----------------------------------------------------|------------|--------------------------------------------------------------|
| | | | | | | | | | | со смазкой | без смазки | со смазкой | без смазки | |
| Б83 | 9,0 | 11,5 | 7,0 | 8,2 | 2,5 | 6,0 | 38,0 | 0,6 | 30 | 0,005 | 0,28 | 0,10 | 12,0 | 0,005 |
| Б16 | 7,8 | 12,3 | 4,7 | 8,6 | 2,3 | 0,2 | 14,7 | 0,14 | 30 | 0,006 | 0,25 | 0,22 | 15,0 | 0,006 |
| БН | 7,0 | 12,7 | 4,5 | 8,1 | — | 1,0 | 25,0 | 0,3 | 29 | 0,006 | 0,27 | 0,15 | 15,0 | 0,004 |
| БТ | 8,0 | 12,8 | — | 7,1 | — | 2,0 | — | 0,26 | 25 | 0,009 | — | — | — | — |
| Б6 | 6,8 | 13,6 | 4,0 | — | — | 0,2 | 23,0 | 0,15 | 32 | 0,005 | — | 0,23 | — | 0,004 |
| БС | 4,2 | 8,8 | 3,2 | — | — | 0,6 | 12,0 | 0,15 | 20 | 0,007 | 0,24 | 0,10 | — | 0,007 |
| БК | 10,0 | 16,0 | 6,0 | 11,8 | 2,6 | 2,5 | 19,0 | 0,80 | 32 | 0,004 | 0,44 | 0,16 | 36,0 | 0,005 |

¹ См. примечание к табл. 9.

Технологические характеристики баббитов

Таблица 32а

| Характеристика | Марка | | | | | |
|---------------------|-------|-----|------|------|------|------|
| | Б83 | Б16 | БН | Б6 | БС | БК |
| Жидкотекучесть в см | 73 | 51 | 63 | — | 79 | — |
| Линейная усадка в % | 0,65 | — | 0,50 | 0,55 | 0,50 | 0,75 |

ПРИПОИ

Припоями называются сплавы, применяемые для пайки металлических изделий. Особенности припоев: 1) относительно низкая температура плавления; 2) хорошая смачиваемость; 3) достаточная прочность паяного шва.

Сплавы на основе свинца и олова с температурой плавления 220—280°С называются *мягкими припоями*.

Сплавы на основе меди и цинка с точкой плавления 850—885°С называются *твердыми припоями*.

Сплавы, обладающие повышенными механическими свойствами, содержащие серебра от 10 до 70% и плавящиеся при температуре 740—830°С, называются *серебряными припоями*.

Сплавы на основе висмута, свинца, олова и кадмия, плавящиеся, в зависимости от химического состава, в пределах температур 60—183°С, называются *легкоплавкими припоями*.

Химический состав, свойства и область применения припоев приведены в табл. 33—37.

Таблица 33

Припои оловянно-свинцовые (по ГОСТ 1499-54)

| Сплав | Марка сплава | Химический состав в % (Pb — остальное) | | | | | Область применения |
|---------------------------------------|--------------|----------------------------------------|---------|-------------------|-----|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | Sn | Sb | Примесей не более | | | |
| | | | | Cu | Bi | As | |
| Припой оловянно-свинцовый | ПОС 90 | 89—90 | ≤ 0,15 | 0,08 | 0,1 | 0,05 | Пайка внутренних швов пищевой посуды и медицинской аппаратуры |
| | ПОС 61 | 59—61 | ≤ 0,8 | 0,1 | 0,1 | 0,05 | |
| | ПОС 50 | 49—50 | ≤ 0,8 | 0,1 | 0,1 | 0,05 | |
| | ПОС 40 | 39—40 | 1,5—2,0 | 0,1 | 0,1 | 0,05 | Пайка латуни, железа и медных проводов |
| | ПОС 30 | 29—30 | 1,5—2,0 | 0,15 | 0,1 | 0,05 | |
| | ПОС 25 * | 24—25 | — | — | — | — | Лужение автоклавов для стерилизации медицинских и хирургических инструментов |
| | ПОС 18 | 17—18 | 2,0—2,5 | 0,15 | 0,1 | 0,05 | Пайка свинца, железа, латуни, оцинкованного железа, автотракторных деталей, изделий ширпотреба |
| Припой оловянно-свинцово-сурьмянистый | ПОСС 4—6 | 3—4 | 5—6 | 0,15 | 0,1 | 0,05 | Пайка белой жести, латуни, железа, меди, свинца при наличии клепаных замочных швов, вмятин в кузовах легковых автомобилей и др. |

Примечания: 1. По особому технически обоснованному требованию потребителя содержание сурьмы в припое ПОС 30 может быть понижено до 0,25%.

2. В припоях всех марок содержание примесей допускается и гарантируется заводом-изготовителем: Fe и Sn не более 0,2% каждого; Zn и Al ≤ 0,002% (следы); Ni ≤ 0,02 для марок ПОС 90, ПОС 61 и ПОС 50 и Ni ≤ 0,08 для остальных марок.

Методы химического анализа по ГОСТ 1429-54.

* Марка нестандартная.

Таблица 34

Физические и механические свойства оловянносвинцовых припоев [14]; [15]

| Марка припоя | Физические свойства | | | | | Механические свойства | | | | | | | | |
|--------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------------------------|--------------------|-----------------------|----------------------------------------|------------------------|----------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------|
| | Верхняя критическая точка в °С | Нижняя критическая точка в °С | Интервальная твердеющая в °С | Плотность γ в г/см ³ | Капиллярность в мм | Смазываемость | Жидкотекучесть в с.к. (листья в песок) | Электропроводность в % | Стойкость к коррозии | Предел прочности при растяжении в кг/мм ² | Предел прочности при сжатии в кг/мм ² | Относительное удлинение в % | Ударная вязкость a_H в кг/м.см ² | Твердость H_B в кг/мм ² |
| Олово О1 | 232 | 232 | 0 | 7,31 | 31,7 | 225 | 125 | 13,9 | 1,9 | 1,7 | 2,19 | 43 | 5,29 | 6,2 |
| ПОС 90 | 222 | 183 | 39 | 7,57 | — | — | 135 | — | 4,3 | 3,5 | 2,70 | 25 | 1,85 | 13,0 |
| ПОС 50 | 209 | 183 | 26 | 8,87 | 23,8 | 966 | 115 | 11,0 | 3,6 | 2,9 | 3,54 | 32 | 4,59 | 15,6 |
| ПОС 40 | 235 | 183 | 52 | 9,31 | 23,8 | 1130 | 91 | 10,2 | 3,2 | 2,8 | 3,67 | 63 | 4,75 | 12,6 |
| ПОС 30 | 256 | 183 | 73 | 9,69 | 25,4 | 1038 | 63 | 9,5 | 3,3 | 2,8 | 2,90 | 58 | 4,67 | 10,1 |
| ПОС 25 | 265 | 183 | 82 | 9,94 | 14,0 | 640 | — | 9,1 | 2,8 | 2,6 | 2,85 | 52 | 3,68 | 10,5 |
| ПОС 18 | 277 | 183 | 94 | 10,23 | — | — | 60 | 8,6 | 2,8 | 2,6 | 2,85 | 67 | 3,86 | 10,5 |
| ПОСС 4-6 | 265 | 245 | 20 | 10,7 | — | — | — | 8,5 | 2,8 | 2,3 | 2,52 | — | 3,86 | 14,2 |
| Свинец С1 | 327 | 327 | 0 | 11,37 | 14,2 | 167 | 134 | 7,9 | 1,1 | 0,2 | 1,27 | 45 | 2,11 | 2,3 |

Таблица 35

Химический состав (по ГОСТ 1534-42), физические и механические свойства медноцинковых припоев [17]

| Марка припоя | Химический состав в % (Zn — остальное) | | Физические свойства | | | | Механические свойства | | | Область применения | |
|--------------|----------------------------------------|--------|------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Примесей не более | Состав | Критическая точка в °С | Плотность γ в г/см ³ | Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ | Удельное сопротивление ρ в Ом·мм ² /м | Структура | Предел прочности при растяжении $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | Относительное удлинение δ в % | | Твердость H_B в кг/мм ² |
| ПМЦ 36 | 36 ± 2 | 0,1 | 0,5 | 825 | 800 | 7,7 | 22 | 10,3 | — | — | Пайка латуни и специальной латуни, содержащих до 68% меди, а также тонкая пайка по бронзе |
| ПМЦ 48 | 48 ± 2 | 0,1 | 0,5 | 865 | 850 | 8,2 | 21 | 4,5 | 3 | 130 | Пайка медных сплавов, содержащих свыше 68% меди |
| ПМЦ 54 | 54 ± 2 | 0,1 | 0,5 | 880 | 876 | 8,3 | 21 | 4,0 | 20 | 128 | Пайка меди, томпака, бронзы, стали |

Примечание. Методы химического анализа по ГОСТ 1652-54.

Легкоплавкие сплавы [17]

| Сплав | Температура плавления в °С | Химический состав в % | | | |
|-------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------|--------|-------|-------|
| | | Bi | Cd | Pb | Sn |
| Анатомический сплав | 60 | 53,5 | 10,5Hg | 17,0 | 19,0 |
| Сплав Вуда | 68 | 50,0 | 12,5 | 25,0 | 12,5 |
| Четверная эвтектика | 70 | 49,5 | 10,1 | 27,27 | 13,13 |
| Легкоплавкий сплав | 75 | 27,5 | 34,5 | 27,5 | 10,5 |
| То же | 80 | 35,3 | 9, | 35,1 | 20,1 |
| Сплав Лихтенберга для тонкого литья | 92 | 50,0 | — | 30,0 | 20,0 |
| Легкоплавкий сплав | 95 | 50,1 | 16,6 | — | 33,3 |
| Тройная эвтектика | 96 | 52,5 | — | 32,0 | 15,5 |
| Сплав с низкой температурой плавления | 100 | 50,0 | — | 40,0 | 10,0 |
| Сплав Розе | 100 | 50,0 | — | 28,0 | 22,0 |
| Тройная эвтектика | 103 | 53,9 | 20,2 | — | 25,9 |
| Сплав для матриц | 105 | 48,0 | 9,0Sb | 28,5 | 14,5 |
| Висмутовый припой | 113 | 40,0 | — | 40,0 | 20,0 |
| Двойная эвтектика | 124 | 55,5 | — | 44,5 | — |
| Сплав с низкой температурой плавления | 130 | 30,8 | — | 35,4 | 30,8 |
| Двойная эвтектика | 138 | 57,0 | — | — | 43,0 |
| Тройная " | 142 | — | 18,2 | 30,6 | 51,2 |
| Двойная " | 144 | 60,0 | 40,0 | — | — |
| Сплав с низкой температурой плавления | 151 | 18,1 | — | — | 45,7 |
| То же | 155 | 17,3 | — | 36,2 | 48,1 |
| Сплав с низкой температурой плавления | 160 | 13,7 | — | 34,6 | 41,5 |
| То же | 165 | 13,3 | — | 44,8 | 40,1 |
| " | 172 | 12,8 | — | 46,5 | 38,2 |
| Двойная эвтектика | 177 | — | 32,0 | 49,0 | 68,0 |
| То же | 183 | — | — | — | 62,0 |
| | | | | 38,0 | |

Припои серебряные по ОСТ 2982 и [17]

| Марка припоя | Химический состав в % (Zn — остальное) | | | | Физические свойства | | Область применения |
|--------------|-------------------------------------------|-------------------------|-------------------|-------|----------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Ag | Cu | Примесей не более | | Температура плавления в °С | Плотность в $\gamma/\text{см}^3$ | |
| | | | Pb | Всего | | | |
| ПСр 10 | 10±0,3 | 53±1 | 0,5 | 1,0 | 830 | 8,6 | Пайка примусных горелок " латуни с содержанием меди ≥ 58% |
| ПСр 12 | 12±0,3 | 36±1 | 0,5 | 1,0 | 785 | 8,5 | |
| ПСр 25 | 25±0,3 | 40±1 | 0,5 | 1,0 | 765 | 8,9 | Пайка тонких деталей, когда требуется чистота места пайки |
| ПСр 45 | 45±0,3 | 30±0,5 | 0,3 | 0,5 | 720 | 9,3 | Пайка медных и бронзовых частей |
| ПСр 65 | 65±0,5 | 20±0,5 | 0,3 | 0,5 | 740 | 9,6 | Пайка ленточных пил проводов в случаях, когда места спая не должны резко уменьшать электропроводность |
| ПСр 70 | 70±0,5 | 26±0,5 | 0,3 | 0,5 | 780 | 9,8 | |
| ПСр 67 | 67±1 | 30±0,5 | 0,3 | 0,5 | 810 | 9,9 | Пайка заготовок при изготовлении троллейных проводов |
| ПСр 50 | 50±0,5 | 48,5±1 Mn 0,8—1,2 | 0,3 | 0,5 | 690 | 9,5 | Пайка встык тонкой луженой стальной проволоки в кабельном производстве |

Примечание. Припои ПСр 10, ПСр 12, ПСр 25 поставляются в зернах размером 1—3 мм, остальные припои — в полосах и прутках.
Методы химического анализа по ОСТ 2987.

СПЛАВЫ НИКЕЛЯ

Технический никель

Никель — химический элемент группы VIII периодической системы Менделеева с порядковым номером 28 и атомным весом 58,69. Найдены изотопы с массами 58 и 60.

Основными свойствами никеля являются его химическая стойкость, прочность, пластичность, тугоплавкость и ферромагнитность. Никель применяется для изготовления проволоки, ленты и других полуфабрикатов путем обработки давлением, для изготовления сплавов на никелевой, медной и алюминиевой основах, легирования стали и чугуна, а также для никелирования.

Физические свойства. Никель — металл белого цвета с желтоватым оттенком. Кристаллическое строение — куб с центрированными гранями. Параметр решетки $3,518 \text{ \AA}$.

Никель имеет точку магнитного превращения (368°C), которая обнаруживается прерывностью почти всех свойств.

При низких температурах никель ферромагнитен, выше 360°C — парамагнитен.

Основные физические свойства никеля следующие:

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Атомный вес | 58,69 |
| " объем | 6,64 |
| Плотность при 20°C $\gamma/\text{см}^3$ | 8,9 |
| Температура плавления ($99,94\% \text{ Ni}$) в $^\circ \text{C}$ | 1455 |
| Температура кипения в $^\circ \text{C}$ | 3377 |
| Удельная теплоемкость ($0-100^\circ$) в $\text{кал/г}^\circ \text{C}$ | 0,112 |
| Теплопроводность ($99,94\% \text{ Ni}$) при $0-100^\circ \text{C}$ в $\text{кал/см}\cdot\text{сек}^\circ \text{C}$ | 0,14 |
| Коэффициент линейного расширения $0-100^\circ$ | $13,7 \cdot 10^{-6}$ |
| Удельная электропроводность при 20°C в $\text{м/ом}\cdot\text{мм}^2$ | 10,5—11,5 |
| Удельное электросопротивление ρ в $\text{ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ | 0,092 |
| Температурный коэффициент электросопротивления ($20-100^\circ$), α_{20-100} | $5,2 \cdot 10^{-3}$ |
| Модуль нормальной упругости E в кг/мм^2 | $21,0 \cdot 10^3$ |

Таблица 38

Никель (по ГОСТ 849-49)

| Марка никеля | Химический состав в % | | | | | | | Примерное назначение |
|--------------|------------------------|-------------------------|-------------------|-------|------|-------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Ni+Co в сумме не менее | В том числе Co не более | Примесей не более | | | | | |
| | | | Fe | Si | C | S | Cu | |
| H0 | 99,8 | 0,2 | 0,04 | 0,002 | 0,04 | 0,005 | 0,06 | Сплавы с особыми свойствами Ковкие сплавы с особыми свойствами Высоконикелевая сталь и сплавы Легированная сталь То же |
| H1 | 99,7 | 0,3 | 0,10 | 0,005 | 0,06 | 0,01 | 0,1 | |
| H2 | 98,9 | 0,4 | 0,25 | 0,3 | 0,10 | 0,03 | 0,15 | |
| H3 | 98,6 | 0,75 | — | — | 0,3 | 0,03 | 0,6 | |
| H4 | 97,6 | 0,9 | — | — | 0,3 | 0,04 | 0,6 | |

Примечания: 1. В никеле марки H4 по требованию заказчика содержание меди может быть допущено до 1%.

2. Методы химического анализа по ГОСТ 634-50.

Примеси в техническом никеле и его торговые марки. Обычные примеси в техническом никеле — железо, кобальт, медь, кремний, углерод, сера и кислород, из которых последние три являются вредными примесями, влияющими на обрабатываемость металла в горячем и холодном состоянии.

Никель поставляется в виде катодов, катодных листов (нарезанных в виде квадратиков), чушек, гранул, дроби, кубиков и ронделей.

В СССР успешно разрешен вопрос получения никеля повышенной чистоты 99,9—99,99%.

Торговые марки никеля, их химический состав и область применения приведены в табл. 38.

Механические свойства никеля указаны в табл. 39.

Таблица 39

Механические свойства никеля [3]; [13]

| Состояние металла | Обозначение свойства | Показатель |
|-------------------|----------------------------------|------------|
| Холоднотянутый | $\sigma_{вр}$ кг/мм ² | 80—90 |
| Отожженный | $\sigma_{вр}$ кг/мм ² | 45—52 |
| Мягкий | $\sigma_{пц}$ кг/мм ² | 14 |
| " | $\sigma_{Т}$ кг/мм ² | 18—21 |
| Горячекатанный | σ_{-1} кг/мм ² | 20,5 |
| Литой | δ % | 42—52 |
| Мягкий | — | 35—40 |
| Кованый | ψ % | 58 |
| Литой | — | 35—45 |
| Отожженный | — | 75—95 |
| Мягкий | $a_{Н}$ кг/см ³ | 18,5 |
| Твердый | $H_{Б}$ кг/мм ² | 200—205 |

Технологические характеристики никеля

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Температура литья в °С | 1550—1650 |
| Температура горячей обработки в °С | 1100—1200 |
| Температура отжига в °С | 780—850 |
| " отпуска в °С | 400 |
| Линейная усадка при литье в металлическую форму в % | 1,0 |
| Температура в °С начала рекристаллизации при деформации не менее 50% | 550 |
| Температура массовой рекристаллизации в °С | 700 |
| В качестве покровного флюса применяется стекло. | |

Никелевые и медноникелевые сплавы

Никелевые сплавы обладают высокой жаростойкостью, жароупорностью, большой термоэлектродвижущей силой и высоким электросопротивлением при весьма малом температурном коэффициенте электросопротивления, высокой коррозионной стойкостью, прочностью и пластичностью при комнатной и повышенных температурах.

Указанные свойства обуславливают широкое применение никелевых сплавов в технике в виде проволоки и лент для печей с высокой рабочей температурой, электронагревательных приборов, реостатов, точных измерительных приборов, термопар и подобных изделий. Сплавы меди с никелем образуют непрерывный ряд твердых растворов.

В табл. 40—57 приведены химический состав, физические, механические и технологические свойства, а также примерное назначение никелевых и медноникелевых сплавов.

Никелевые и медноникелевые

| Сплав | Марка сплава | Химический состав в % | | | | | | |
|-------------------------|------------------|-----------------------|-----------|---------|-----------|---------|----------------|-----------|
| | | Fe | Si | Mn | Zn | Pb | Ni + Co | Cu |
| Никель технический | НТ | — | — | — | — | — | Не менее 99,00 | — |
| Никель кремнистый | НК 0,2 | — | 0,15—0,25 | — | — | — | Остальное | — |
| Никель марганцовистый | НМц 2,5 | — | — | 2,3—3,3 | — | — | „ | — |
| То же | НМц5 | — | — | 4,6—5,4 | — | — | „ | — |
| Монель | НМЖМц 28-2,5-1,5 | 2,0—3,0 | — | 1,2—1,8 | — | — | „ | 27,0—29,0 |
| Мельхиор . . | МНЖМц 30-0,8-1 | 0,6—1,0 | — | 0,8—1,3 | — | — | 29,0—33,0 | Остальное |
| — | МН19 | — | — | — | — | — | 18,0—20,0 | „ |
| Нейзильбер | МНЦ 15-20 | — | — | — | 18,0—22,0 | — | 13,5—16,5 | „ |
| Нейзильбер свинцовистый | МНЦС 63-18-17-2 | — | — | — | 17,0—19,0 | 1,6—2,0 | 16,5—18,0 | „ |

Примечания: 1. Химический состав нейзильбера свинцовистого дан по ВТУ ЦМО 6-42-51.

2. В мельхиоре марки МН19: а) применяемом для изготовления монет допускается повышенное содержание железа не более 0,15%, б) применяемом для изготовления лент специального назначения устанавливается содержание меди не более 0,3% и сумма примесей не более 0,6%.

3. В никеле технического марки НТ, применяемом для изготовления анодов, уменьшается верхний предел содержания меди.

4. Методы химического анализа по ГОСТ 6689-53.

Таблица 41

Физические свойства никелевых и медноникелевых сплавов [3]; [13]; [17]

| Марка сплава | Критическая точка в °С | | Плотность γ в Г/см^3 | Коэффициент линейного расширения $\alpha_{25-100} \cdot 10^6$ | Темлопроводность λ в $\text{кал/см}^2 \cdot \text{сек} \cdot \text{°С}$ | Удельное электросопротивление ρ в $\text{ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ | Температурный коэффициент электросопротивления α_2 |
|------------------|------------------------|--------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| | верхняя | нижняя | | | | | |
| НТ | 1452 | — | 8,9 | 13,7 | 0,14 | 0,082—0,092 | 0,0046—0,0052 |
| НК 0,2 | 1452 | — | 8,9 | 13,7 | 0,14 | 0,085 | 0,0047 |
| НМц 2,5 | 1440 | — | 8,9 | 13,7 | 0,127 | 0,14 | 0,0042 |
| НМц5 | 1410 | 1370 | 8,76 | 13,7 | 0,115 | 0,17 | 0,0036 |
| НМЖМц 28-2,5-1,5 | 1350 | — | 8,8 | 14,1 | 0,06 | 0,42 | 0,0019 |
| МНЖМц 30-0,8-1 | 1240 | 1170 | 8,94 | 16,1 | 0,089 | 0,40 | 0,0012 |
| МН19 | 1190 | 1130 | 8,9 | 16,1 | 0,092 | 0,28 | 0,00029 |
| МНЦ 15-20 | 1080 | 1040 | 8,76 | 16,6 | 0,085 | 0,26 | 0,0002 |
| МНЦС 63-18-17-2 | 1120 | 965 | 8,82 | — | — | — | — |

сплавы (по ГОСТ 492-52)

Таблица 40

| Примесей не более | | | | | | | | | | | | | Вид изделий | Примерное назначение |
|-------------------|------|------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Fe | Si | Mg | Mn | Cu | Pb | S | C | P | Bi | As | Sb | Всего | | |
| 0,3 | 0,15 | 0,10 | 0,20 | 0,15 | 0,002 | 0,03 | 0,20 | 0,010 | — | — | — | 1,00 | Лента, листы, проволока, прутки, трубки | Для приборов точной механики и электротехнических целей, анодов |
| 0,15 | — | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,002 | 0,02 | 0,10 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,60 | Лента и проволока | Для деталей радиоламп неотвественного назначения |
| 0,65 | 0,30 | 0,10 | — | 0,50 | 0,002 | 0,03 | 0,30 | 0,010 | 0,002 | 0,030 | 0,002 | 1,50 | Проволока | Для свечей автомобильных, авиационных и тракторных двигателей |
| 0,65 | 0,30 | 0,10 | — | 0,50 | 0,002 | 0,03 | 0,30 | 0,020 | 0,002 | 0,030 | 0,002 | 2,0 | То же | Для свечей автомобильных, авиационных и тракторных двигателей и для радиоламп |
| — | 0,05 | 0,10 | — | — | 0,002 | 0,01 | 0,20 | 0,005 | 0,002 | 0,010 | 0,002 | 0,60 | Лента, листы, полосы, прутки, проволока и литые Трубы | Для антикоррозионных деталей |
| — | 0,15 | 0,05 | — | — | 0,005 | 0,01 | 0,05 | 0,006 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,30 | Трубы | Трубы конденсаторные для судостроения и трубы для термостатов |
| 1,00 | 0,15 | 0,05 | 0,30 | — | 0,005 | 0,01 | 0,05 | 0,010 | 0,002 | 0,010 | 0,005 | 1,50 | Лента, полосы, проволока и прутки | Для штамповки и чеканки |
| 0,50 | 0,15 | 0,05 | 0,30 | — | 0,020 | 0,005 | 0,03 | 0,005 | 0,002 | 0,010 | 0,002 | 0,30 | То же | Для приборов точной механики, электротехнических целей и технической посуды |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | Полосы | Для деталей в часовой промышленности |

содержание марганца или железа более указанного в таблице предела, но при этом сумма их не вается следующее содержание примесей: марганца не более 0,01%, магния не более 0,01%, кремния не предел содержания примесей: кремния до 0,01%, железа до 0,1%, меди до 0,1%, а марганец должен

Таблица 42
Механические свойства никелевых и медноникелевых сплавов [3]; [13]; [17]

| Марка сплава | E в кг/мм ² | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | | σ_T в кг/мм ² | | δ в % | | ψ в % | НБ в кг/мм ² | | RB | |
|------------------|------------------------|------------------------------------|---------|---------------------------------|---------|--------------|---------|------------|-------------------------|---------|--------|---------|
| | | Мягкий | Твердый | Мягкий | Твердый | Мягкий | Твердый | | Мягкий | Твердый | Мягкий | Твердый |
| | | | | | | | | | | | | |
| НТ | 21 000 | 42 | 73 | 12 | 70 | 40 | 3 | 70 | 90 | 190 | — | — |
| НК 0,2 | 21 000 | 42 | 73 | 12 | 70 | 40 | 3 | 70 | 90 | 190 | — | — |
| НМц 2,5 | 20 000 | 35 | 82 | — | — | 40 | 2 | — | 140* | — | — | — |
| НМц5 | 20 000 | 55—60* | — | 13—24* | — | 40* | — | 60* | 145* | — | 70* | — |
| НМЖМц 28-2,5-1,5 | 17 500 | 45 | 80 | 20 | 75 | 32 | 2 | — | 130 | 210 | 60 | 95 |
| МНЖМц 30-0,8-1 | 15 400 | 35 | 60 | 14 | 54 | 38 | 4 | 80 | 70 | 190 | 37 | 85 |
| МН19 | 14 000 | 34 | 55 | 10 | 52 | 35 | 4 | 75 | 70 | 120 | 25 | 80 |
| МНЦ 15-20 | 12 600 | 40 | 65 | 14 | 59 | 44 | 2,5 | — | 70 | 160 | — | 88 |
| МНЦС 63-18-17-2 | 12 700 | 40 | 65 | — | — | 40 | 2,0 | — | — | — | 42 | 92 |

Примечание. Твердый — материал деформирован на 50%, мягкий — отожжен при 750° С.
* Материал горячекатанный.

Таблица 43

Технологические характеристики никелевых и медноникелевых сплавов [3]; [13]; [17]

| Марка сплава | Температура в °С | | | Отжиг для снятия внутренних напряжений при температуре в °С | Обрабатываемость резанием в %* | Линейная усадка в % |
|------------------|------------------|-----------------------------|---------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------|
| | литья | горячей обработки | отжига | | | |
| НТ | 1550—1650 | 1100—1200 | 780—850 | 280—315 | — | 1,0 |
| НК 0,2 | 1550—1650 | 1100—1200 | 780—850 | 280—315 | — | 1,0 |
| НМц 2,5 | 1500—1550 | 1150—1200 | 900 | — | — | — |
| НМц5 | 1500—1550 | 1100—1150 | 800—850 | — | — | — |
| НМЖМц 28-2,5-1,5 | 1500 | 975—1150 | 800—850 | 280—315 | — | 2,1 |
| МНЖМц 30-0,8-1 | 1330—1350 | 900—960 | 780—810 | 250—300 | 20 | — |
| МН19 | 1280—1300 | 980—1030 | 600—780 | 250 | 20 | 2,29 |
| МНЦ 15-20 | 1170 | 800—970 | 700—750 | 250 | 20 | 2,02 |
| МНЦС 63-18-17-2 | 1250—1260 | В горячую не обрабатывается | 750 | 250 | 50 | — |

* За 100% взята обрабатываемость резанием латуни ЛС 63-3.

Таблица 44

Механические свойства полуфабрикатов из никелевых сплавов

| Марка сплава | Вид изделий | Состояние материала | Механические свойства | | ГОСТ и ТУ | | |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------------|--------------|------------------------------|-----------------------|----------------------|
| | | | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | δ в % | | | |
| | | | не менее | | | | |
| НТ | Лента | Мягкая | 40 | 35 | ГОСТ 2170-49 | | |
| | | Твердая | 55 | 2 | | | |
| | Проволока диаметром | 0,10—0,20 мм | Мягкая | 43 | 18 | ГОСТ 2179-52 То же | |
| | | 0,22—0,45 " | " | 43 | 20 | | |
| | | 0,50—1,0 " | " | 40 | 25 | | |
| | | 1,1—12,0 " | " | 38 | 26 | | |
| Проволока диаметром | 0,1—5,0 мм | Твердая | 70—85 | — | " | | |
| НК 0,2 | Лента | Мягкая | 40 | 35 | ГОСТ 2170-49 То же | | |
| | | Твердая | 55 | 2 | | | |
| | Проволока диаметром | 0,10—0,20 мм | Мягкая | 43 | 18 | ГОСТ 2179-52 То же | |
| | | 0,22—0,45 " | " | 43 | 20 | | |
| | | 0,5—1,0 " | " | 40 | 25 | | |
| | | 1,1—12,0 " | " | 38 | 26 | | |
| | Проволока диаметром | 0,1—5,0 мм | Твердая | 70—85 | — | ГОСТ 2179-52 То же | |
| | | 5,5—7,5 " | " | 65—85 | — | | |
| 8,0—12,0 " | | " | 60—85 | — | | | |
| НМЖМц 28-2,5-1,5 | Полосы и лента | Мягкие | 45 | 25 | ГОСТ 5063-49 ГОСТ 5187-49 | | |
| | Прутки тянутые | Полутвердые Мягкие | 58 | 6,5 | | | |
| | " катаные | Твердые | 45 | 25 | ГОСТ 1525-53 То же | | |
| | | Твердые | 60 | 10 | | | |
| | Листы | Твердые | 50 | 18 | ЦМТУ 200-41 | | |
| | | Мягкие | 40—50 | 25 | | | |
| | | Проволока диаметром | Мягкая | 50 | | 25 | ЦМТУ 664-41 То же |
| | | | " | 45 | | 30 | |
| | Проволока диаметром | Твердая | 70 | 1 | " | | |
| | | " | 65 | 1 | | | |

Продолжение табл. 44

| Марка сплава | Вид изделий | Состояние материала | Механические свойства | | ГОСТ и ТУ |
|--------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| | | | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | δ в % | |
| | | | не менее | | |
| НМц 2,5 | Проволока " | Мягкая Твердая | ≤ 65 70 | 20 — | ГОСТ 1049-41 |
| НМц5 | Проволока " | Мягкая Твердая | ≤ 75 75 | 18 — | ГОСТ 1049-41 То же |
| МНЖМц 30-0,8-1 | Трубы конденсаторные То же | Мягкие Полутвердые | 38 50 | 23 8—20 | ГОСТ 2203-43 ЦМТУ 3085-52 |
| МН19 | Полосы | Мягкие | 30 | 30 | ГОСТ 5063-49 |
| | Лента | Твердые | 40 | 3 | ГОСТ 5187-49 |
| | " | Мягкая Твердая Мягкая | 30 40 30—38 | 25 2,5 32 | ГОСТ 1018-54 |
| МНЦ 15-20 | Полосы и лента | Мягкие | 35 | 35 | ГОСТ 5063-49 |
| | Прутки тянутые и канатные диаметром 6—50 мм | Твердые | 55 | 1 | ГОСТ 5187-49 |
| | | Особо твердые | 65 | 1 | ЦМТУ 674-41 |
| | | Мягкие | 30 | 30 | |
| | Прутки диаметром 6—22 мм | Твердые | 45 | 5 | ЦМТУ 674-41 |
| | | " | 40 | 7 | То же |
| | | " | 35 | 12 | " |
| | Проволока диаметром 0,2—0,5 мм | Мягкая | 35 | 20 | ГОСТ 5220-50 |
| | | " | 35 | 25 | То же |
| | | " | 35 | 30 | " |
| | Проволока диаметром 0,6—1,0 мм | Полутвердая | 45 | 3 | " |
| | | " | 45 | 5 | " |
| Проволока диаметром 1,1—5,0 мм | Твердая | 55 | 0,5 | " | |
| | " | 55 | 0,5 | " | |
| | " | 55 | 1,0 | " | |
| МНЦС 63-18-17-2 | Полосы | Мягкие Полутвердые Твердые | Твердость по Роквеллу, шкала В | | ВТУ ЦМО 6-42-51 То же " |
| | | | 53 | — | |
| | | | 153—70 70—90 | — | |

Термоэлектродные

| Наименование сплава | Марка сплава | Химический состав в % | | | | | | |
|-----------------------------|--------------|-----------------------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| | | Al | Fe | Si | Mn | Cr | Ni + Co | Cu |
| Аломель . . . | НМцАК 2-2-1 | 1,8—2,50 | — | 0,85—2,0 | 1,80—2,2 | — | Остальное | — |
| Хромель 1 . . . | НХ 9,5 | — | — | — | — | 9,0—10,0 | " | — |
| Хромель 2 . . . | НХ 9 | — | — | — | — | 8,5—9,5 | " | — |
| Копель . . . | МНМц 43-0,5 | — | — | — | 0,1—1,0 | — | 42,5—44,0 | Остальное |
| Константан . . | МНМц 40-1,5 | — | — | — | 1,0—2,0 | — | 39,0—41,0 | " |
| Сплав ТБ не- стандартный | МН16 | — | — | — | — | — | 15,3—16,3 | " |
| Манганин . . . | МНМц 3-12 | — | — | — | 11,5—13,5 | — | 2,5—3,5 | " |
| Сплав ТП . . . | МН 0,6 | — | — | — | — | — | 0,57—0,63 | " |
| Нихром . . . | X15Н60 | — | Остальное | — | 1,2 | 15—18 | 55—61 | " |

Примечание. Содержание примесей Sb и Bi не более 0,002%.

Таблица 46

Термоэлектрические свойства термоэлектродных сплавов в мВ

| Марка сплава | Термоэлектродвижущая сила в паре с платиной при температурах рабочего спая в °С (температура свободного конца 0° С) | | | | | | | | | |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| НМцАК 2-2-1 | -1,20 | -1,98 | -2,68 | -3,46 | -4,31 | -5,17 | -6,03 | -6,93 | -7,78 | -8,63 |
| НХ 9,5 | +3,0 | +6,2 | +9,55 | +12,95 | +16,3 | +19,7 | +23,05 | +26,25 | +29,45 | +32,55 |
| МНМц 43-0,5 | -4,0 | -8,57 | -13,55 | -18,62 | -23,86 | -29,29 | -34,75 | -40,2 | — | — |
| МНМц 40-1,5 | -3,4 | -7,2 | -11,3 | -15,5 | -19,9 | -24,5 | -29,1 | -33,7 | — | — |
| МН16 | -2,21 | -4,8 | -7,93 | -11,41 | -14,91 | — | — | — | — | — |
| МНМц 3-12 | +0,89 | +1,89 | +3,29 | +5,06 | — | — | — | — | — | — |
| МН 0,6 | +0,12 | -0,61 | -1,36 | -2,17 | -3,11 | — | — | — | — | — |
| X15Н60 | +1,15 | +2,6 | +4,33 | +6,2 | +8,23 | +10,48 | +12,93 | +15,54 | +18,28 | +21,2 |

Таблица 45

сплавы (по ГОСТ 492-52)

| Примесей в % не более | | | | | | | | | | | Вид изделий | Примерное назначение |
|-----------------------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Fe | Si | Mg | Mn | Cu | Pb | S | C | P | As | Всего | | |
| 0,30 | — | 0,05 | — | 0,25 | 0,002 | 0,02 | 0,20 | 0,005 | 0,002 | 0,80 | Проволока | Для терморпар То же |
| 0,40 | 0,20 | 0,05 | 0,30 | 0,20 | 0,002 | 0,02 | 0,30 | 0,003 | 0,002 | 1,40 | | |
| 0,40 | 0,20 | 0,05 | 0,30 | 0,20 | 0,002 | 0,02 | 0,30 | 0,003 | 0,002 | 1,40 | | |
| 0,15 | 0,10 | 0,05 | — | — | 0,002 | 0,01 | 0,10 | 0,002 | 0,002 | 0,60 | " | Для терморпар и компенсационных проводов |
| 0,50 | 0,10 | 0,05 | — | — | 0,005 | 0,02 | 0,10 | 0,005 | 0,010 | 0,90 | Лента и проволока | Для электротехнических целей и компенсационных проводов |
| 0,05 | 0,002 | 0,05 | — | — | 0,002 | 0,002 | 0,03 | 0,002 | 0,002 | 0,20 | Проволока | Для компенсационных проводов |
| 0,50 | 0,10 | 0,03 | — | — | 0,02 | 0,02 | 0,05 | 0,005 | 0,005 | 0,90 | Лента, листы, полосы и проволока | Для электротехнических целей и измерительных приборов |
| 0,005 | 0,002 | — | — | — | 0,005 | 0,005 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,10 | Проволока | Для компенсационных проводов |
| — | 1,0 | — | — | — | — | 0,025 | 0,15 | 0,035 | — | — | Проволока, полосы, лента | Для электронагревательных приборов и печей (ГОСТ 5632-51) |

Таблица 47

Физические свойства термоэлектродных сплавов [3]; [13]; [17]

| Марка сплава | Температура плавления в °С | Плотность γ в $Г/см^3$ | Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ | Теплопроводность λ в $кал/см \cdot сек \cdot ^\circ C$ | Удельное электрическое сопротивление ρ в $ом \cdot мм^2/м$ | Температурный коэффициент электропроводности $\alpha \cdot 10^4$ | Термоэлектродвижущая сила в паре с платиной при 100° С (холодный спай 0° С) в $мв$ | Модуль нормальной упругости E в $кг/мм^2$ |
|---------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| НМцАК 2-2-1 | 1440 | 8,5 | — | — | 0,25—0,35 | 26,0 | —1,2 | — |
| НХ 9,5 и НХ 9 | 1435 | 8,72 | 12,8 | — | 0,6—0,7 | 4,90 | +3,0 | — |
| МНМц 43-0,5 | 1290 | 8,89 | 14,0 | 0,058 | 0,49—0,50 | 1,4 | —4,0 | 9 500 |
| МНМц 40-1,5 | 1260 | 8,90 | 14,4 | 0,05 | 0,48 | 0,206 | —3,4 | 16 600 |
| МН16 | 1170 | 9,02 | 15,3 | — | 0,223 | 26,79 | —2,21 | 7800—8400 |
| МНМц 3-12 | 1010 | 8,4 | 16,0 | 0,052 | 0,435 | 0,10—0,30 | +0,89 | 12 650 |
| МН 0,6 | 1084 | 8,96 | — | 0,65 | 0,031 | 27,58 | +0,12 | 12 000 |
| X15Н60 | 1390 | 8,4 | 16 | 0,033 | 1,124 | 1,34 | +1,15 | 21 800 |

Таблица 48

Механические свойства термоэлектродных сплавов [3]; [13]; [17]

| Марка сплава | $\sigma_{ар}$ в кг/мм ² | | δ в % | | H_B в кг/мм ² | |
|---------------|------------------------------------|--------|--------------|--------|----------------------------|--------|
| | Твердый | Мягкий | Твердый | Мягкий | Твердый | Мягкий |
| НМцАК 2-2-1 | 92 | 62 | 3—4 | 32 | 265 | 128 |
| НХ 9,5 и НХ 9 | 104 | 70 | 3—4 | 32 | 300 | 140 |
| МНМц 43-0,5 | 65 | 40 | 3—4 | 38 | 175—180 | 90—95 |
| МНМц 40-1,5 | 68 | 48 | 2,5 | 25 | — | 75—90 |
| МН16 | 55 | 31 | 6 | 26 | — | — |
| МНМц 3-12 | 85 | 40 | 2 | 28 | — | — |
| МН 0,6 | 37 | 27 | 3 | 32 | — | 50—60 |
| X15H60 | 120 | 64 | 0,5 | 30 | 230 | — |

Примечание. Твердый — материал деформирован на 50%; мягкий — материал отожжен при температурах: алюминий, хромель — 900° С, копель, константан, сплав ТБ — 800° С, марганец — 700° С, сплав ТП — 500° С.

Таблица 49

Технологические характеристики термоэлектродных сплавов [3]; [13]; [17]

| Марка сплава | Температура в °С | | | | |
|---------------|------------------|-------------------|---------|----------------------------|----------------------|
| | литья | горячей обработки | отжига | низкотемпературного отжига | Максимальная рабочая |
| НМцАК 2-2-1 | 1480—1500 | 1180—1220 | 900—950 | — | 1000 |
| НХ 9,5 и НХ 9 | 1500 | 1180—1220 | 850—900 | — | 1000 |
| МНМц 43-0,5 | 1280—1300 | 1100—1150 | 800—850 | — | 600 |
| МНМц 40-1,5 | 1280—1300 | 1080—1130 | 800—850 | — | 500 |
| МН16 | 1250—1260 | 980—1030 | 750—780 | — | 100 |
| МНМц 3-12 | 1160—1175 | 800—850 | 700—750 | 250—375 | 100—150 |
| МН 0,6 | 1160—1180 | 880—930 | 500 | — | 100 |
| X15H60 | 1500 | 1000—1100 | 750—850 | — | 1000 |

Механические и физические свойства полуфабрикатов из термоэлектродных сплавов

| Марка сплава | Вид изделия | Состояние материала | Свойства | | | | ГОСТ и ТУ |
|--------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| | | | Предел прочности при растяжении $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² не более | Относительное удлинение δ в % не менее | Удельное электросопротивление ρ в $\text{ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ | ТЭДС в паре с медью при температуре свободного конца 0° С и рабочего конца 100° С в мВ | |
| НМпАК 2-2-1 | Проволока для термоэлектродов термопар | Мягкая | 64 | 30 | $0,305 \pm 0,045$ | — | ГОСТ В-1790-42 |
| НХ 9,5, НХ 9 | То же | " | 80 | 25 | $0,66 \pm 0,05$ | $+2,14 \pm 0,15$ | ГОСТ 1791-54 |
| МНМц 43-0,5 | Проволока для термоэлектродов термопар и компенсационных проводов | " | 60 | 20 | $0,465 \pm 0,025$ | $-4,76 \pm 0,15$ | ГОСТ В-1790-42 и ГОСТ 1791-54 |
| МНМц 40-1,5 | Проволока для компенсационных проводов | " | ≥ 40 | 15 | $0,465 \pm 0,015$ | $-4,10 \pm 0,15$ | ГОСТ 1791-54 |
| МНМц 40-1,5 | Проволока для электротехнических целей | " | 40—55 | — | $0,45-0,48$ | — | ГОСТ 5307-50 |
| МНМц 40-1,5 | То же | Твердая | $\geq 6^*$ | — | $0,46-0,52$ | — | ГОСТ 5307-50 |
| МНМц 40-1,5 | Лента | Мягкая Твердая | 40—60 ≥ 65 | — | 0,45 0,51 | — | ГОСТ 5189-49 ГОСТ 5189-49 |
| МНМц 3-12 | Заготовка для проволоки диаметром до 1 мм | Мягкая | 65 | — | $0,42-0,48$ | — | ЦМТУ 683-41 |
| МНМц 3-12 | То же, более 1 мм | " | 60 | — | $0,42-0,48$ | — | — |
| МНМц 3-12 | Заготовка для стабилизированной проволоки | " | 65 | — | $0,42-0,48$ | — | ЦМТУ 2554-50 |
| МНМц 3-12 | Прутки | Мягкие | 55 | — | $0,42-0,48$ | — | ЦМТУ 682-41 |
| МНМц 3-12 | Лента и полосы | " | 36—50 | 25 | $0,42-0,48$ | — | ЦМТУ 539-41 |
| МН 16 | Проволока для компенсационных проводов | Мягкая | 45 | 20 | — | $2,96 \pm 0,10$ | — |
| МН 0,6 | То же | " | 30 | 25 | — | $-0,94 \pm 0,03$ | ГОСТ 1791-54 |

Расчетные данные для марганца НММц 85-12 [3]; [13]; [17]

| Диаметр проволоки в мм | Сечение в мм ² | Длина провода на 1 Ом в м | Вес 100 м в г | Длина 1 кг голого провода в м | Электро-сопротивление 1 м в Ом | Электро-сопротивление 1 кг в Ом | Нагрузка из расчета 4 а/мм ² в а |
|------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------|
| 0,03 | 0,00071 | 0,00165 | 0,596 | 168 000 | 606,0 | 102 000 000 | 0,0028 |
| 0,04 | 0,00126 | 0,00293 | 1,06 | 94 400 | 342,0 | 32 300 000 | 0,0050 |
| 0,045 | 0,00159 | 0,00370 | 1,34 | 74 600 | 271,0 | 20 200 000 | 0,0064 |
| 0,050 | 0,00196 | 0,00456 | 1,65 | 60 600 | 220,0 | 12 200 000 | 0,0078 |
| 0,060 | 0,00283 | 0,00658 | 2,38 | 42 000 | 152,0 | 6 380 000 | 0,0110 |
| 0,070 | 0,00385 | 0,00895 | 3,24 | 30 900 | 112,0 | 3 460 000 | 0,015 |
| 0,080 | 0,00503 | 0,0117 | 4,23 | 23 600 | 85,4 | 2 020 000 | 0,020 |
| 0,090 | 0,00633 | 0,0148 | 5,34 | 18 700 | 67,6 | 1 260 000 | 0,025 |
| 0,10 | 0,00785 | 0,0183 | 6,60 | 15 200 | 54,8 | 833 000 | 0,031 |
| 0,11 | 0,00950 | 0,0221 | 7,98 | 12 500 | 45,3 | 565 000 | 0,038 |
| 0,12 | 0,0113 | 0,0263 | 9,5 | 10 500 | 38,1 | 400 000 | 0,045 |
| 0,13 | 0,0133 | 0,0309 | 11,2 | 8 830 | 32,4 | 290 000 | 0,053 |
| 0,14 | 0,0154 | 0,0358 | 12,9 | 7 750 | 27,9 | 216 000 | 0,062 |
| 0,15 | 0,0177 | 0,0412 | 14,9 | 6 720 | 24,3 | 163 000 | 0,071 |
| 0,16 | 0,0201 | 0,0467 | 16,9 | 5 920 | 21,4 | 127 000 | 0,080 |
| 0,18 | 0,0255 | 0,0593 | 21,4 | 4 670 | 16,9 | 78 900 | 0,10 |
| 0,20 | 0,0314 | 0,0730 | 26,4 | 3 790 | 13,7 | 51 900 | 0,13 |
| 0,22 | 0,0390 | 0,0884 | 31,9 | 3 110 | 11,3 | 35 500 | 0,15 |
| 0,25 | 0,0491 | 0,114 | 41,2 | 2 430 | 8,76 | 21 300 | 0,20 |
| 0,30 | 0,0707 | 0,164 | 59,4 | 1 680 | 6,06 | 10 200 | 0,28 |
| 0,32 | 0,0804 | 0,187 | 67,5 | 1 480 | 5,34 | 7 900 | 0,32 |
| 0,35 | 0,0962 | 0,224 | 80,8 | 1 240 | 4,47 | 5 540 | 0,38 |
| 0,40 | 0,126 | 0,293 | 106 | 944 | 3,42 | 3 230 | 0,50 |
| 0,45 | 0,159 | 0,370 | 134 | 746 | 2,71 | 2 020 | 0,64 |
| 0,50 | 0,196 | 0,456 | 155 | 606 | 2,20 | 1 220 | 0,78 |
| 0,55 | 0,238 | 0,554 | 200 | 500 | 1,81 | 996 | 0,95 |
| 0,60 | 0,283 | 0,658 | 238 | 420 | 1,52 | 638 | 1,1 |
| 0,70 | 0,385 | 0,895 | 324 | 309 | 1,12 | 346 | 1,5 |
| 0,80 | 0,503 | 1,17 | 423 | 236 | 0,854 | 202 | 2,0 |
| 0,90 | 0,636 | 1,48 | 534 | 187 | 0,675 | 126 | 2,5 |
| 1,0 | 0,785 | 1,83 | 660 | 152 | 0,548 | 88,3 | 3,1 |
| 1,1 | 0,950 | 2,21 | 798 | 125 | 0,453 | 56,6 | 3,8 |
| 1,2 | 1,13 | 2,63 | 950 | 105 | 0,379 | 40,0 | 4,5 |
| 1,3 | 1,33 | 3,09 | 1120 | 89,3 | 0,324 | 29,0 | 5,3 |
| 1,5 | 1,77 | 4,12 | 1490 | 67,2 | 0,243 | 16,3 | 7,1 |
| 1,8 | 2,55 | 5,93 | 2140 | 46,7 | 0,169 | 7,89 | 10 |
| 2,0 | 3,14 | 7,30 | 2640 | 37,9 | 0,137 | 5,19 | 12 |
| 2,2 | 3,80 | 8,84 | 3190 | 31,4 | 0,113 | 3,55 | 15 |
| 2,5 | 4,91 | 11,40 | 4120 | 24,3 | 0,0875 | 2,13 | 19 |
| 3,0 | 7,07 | 16,40 | 5940 | 16,8 | 0,0608 | 1,02 | 28 |

Таблица 52

Расчетные данные для константана [3]; [13]; [17]

| Диаметр в мм | Сечение в мм ² | Электро- сопроти- вление 1 м в Ом | Длина провода на 1 Ом в м | Вес 100 м в г | Длина 1 кг голоого провода в м | Электросо- противление 1 кг голоого провода в Ом | Нагрузка из расчета 5 а/мм в а |
|-----------------|------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 0,03 | 0,00071 | 690 | 0,00145 | 0,632 | 158 000 | 109 000 000 | 0,0035 |
| 0,04 | 0,00123 | 389 | 0,00257 | 1,12 | 89 300 | 34 700 000 | 0,0063 |
| 0,045 | 0,00159 | 308 | 0,00324 | 1,42 | 70 400 | 21 700 000 | 0,0080 |
| 0,05 | 0,00196 | 250 | 0,00400 | 1,75 | 57 200 | 14 300 000 | 0,0098 |
| 0,06 | 0,00283 | 173 | 0,00578 | 2,52 | 39 700 | 6 870 000 | 0,0140 |
| 0,07 | 0,00385 | 127 | 0,00782 | 3,43 | 29 200 | 3 910 000 | 0,019 |
| 0,08 | 0,00503 | 97,4 | 0,0103 | 4,48 | 22 300 | 2 170 000 | 0,025 |
| 0,09 | 0,00636 | 77,0 | 0,0130 | 5,66 | 17 700 | 1 360 000 | 0,032 |
| 0,10 | 0,00785 | 62,4 | 0,0160 | 6,99 | 14 300 | 892 000 | 0,039 |
| 0,11 | 0,00950 | 51,6 | 0,0194 | 8,46 | 11 800 | 608 000 | 0,048 |
| 0,12 | 0,0113 | 43,4 | 0,0231 | 10,1 | 9 900 | 499 000 | 0,056 |
| 0,13 | 0,0133 | 36,9 | 0,0272 | 11,8 | 8 470 | 312 000 | 0,067 |
| 0,14 | 0,0154 | 31,8 | 0,0314 | 13,7 | 7 300 | 232 000 | 0,077 |
| 0,15 | 0,0177 | 27,7 | 0,0361 | 15,8 | 6 330 | 175 000 | 0,089 |
| 0,16 | 0,0201 | 24,4 | 0,0410 | 17,9 | 5 080 | 124 000 | 0,11 |
| 0,18 | 0,0255 | 19,2 | 0,0520 | 22,7 | 4 420 | 84 600 | 0,13 |
| 0,20 | 0,0314 | 15,6 | 0,0641 | 28,0 | 3 570 | 55 600 | 0,16 |
| 0,22 | 0,0380 | 12,9 | 0,0776 | 33,8 | 2 960 | 38 200 | 0,19 |
| 0,25 | 0,0491 | 9,98 | 0,100 | 43,7 | 2 290 | 22 800 | 0,25 |
| 0,30 | 0,0707 | 6,93 | 0,144 | 62,9 | 1 590 | 11 000 | 0,35 |
| 0,32 | 0,0804 | 6,10 | 0,164 | 71,6 | 1 400 | 8 540 | 0,40 |
| 0,35 | 0,0962 | 5,09 | 0,196 | 85,5 | 1 170 | 5 950 | 0,48 |
| 0,40 | 0,126 | 3,89 | 0,257 | 112 | 893 | 3 470 | 0,63 |
| 0,45 | 0,159 | 3,08 | 0,325 | 142 | 704 | 2 170 | 0,80 |
| 0,50 | 0,196 | 2,50 | 0,400 | 175 | 572 | 1 430 | 0,98 |
| 0,55 | 0,233 | 2,06 | 0,485 | 212 | 473 | 974 | 1,19 |
| 0,60 | 0,283 | 1,73 | 0,578 | 252 | 397 | 687 | 1,4 |
| 0,70 | 0,385 | 1,27 | 0,786 | 343 | 292 | 391 | 1,9 |
| 0,80 | 0,503 | 0,974 | 1,03 | 448 | 223 | 217 | 2,5 |
| 0,90 | 0,636 | 0,770 | 1,30 | 566 | 177 | 135 | 3,2 |
| 1,0 | 0,785 | 0,624 | 1,60 | 699 | 143 | 89,2 | 3,9 |
| 1,1 | 0,950 | 0,516 | 1,94 | 846 | 118 | 60,8 | 4,8 |
| 1,2 | 1,13 | 0,434 | 2,31 | 1010 | 99 | 42,9 | 5,7 |
| 1,3 | 1,33 | 0,369 | 2,72 | 1180 | 84,7 | 31,2 | 6,7 |
| 1,5 | 1,77 | 0,277 | 3,61 | 1580 | 63,3 | 17,5 | 8,9 |
| 1,8 | 2,55 | 0,192 | 5,20 | 2270 | 44,1 | 8,46 | 13,0 |
| 2,0 | 3,14 | 0,156 | 6,41 | 2800 | 35,7 | 5,56 | 16,6 |
| 2,2 | 3,80 | 0,129 | 7,76 | 3380 | 29,6 | 3,82 | 19,0 |
| 2,5 | 4,91 | 0,0998 | 10,00 | 4370 | 22,9 | 2,28 | 25,0 |
| 3,0 | 7,07 | 0,0693 | 11,40 | 6290 | 15,9 | 1,10 | 35,0 |

Расчетные данные для ферронихрома X15H60 [3]; [13]; [17]

| Диаметр в мм | Сечение в мм ² | Электро- сопроти- вление 1 м в Ом | Вес 100 м провода в г | Длина 1 кг голого провода в м | Электро- сопротивление 1 кг голого провода в Ом | Нагрузка из расчета 4 а/мм ² в а |
|-----------------|------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 0,03 | 0,00071 | 1410 | 0,582 | 172 000 | 242 000 000 | 0,0035 |
| 0,04 | 0,00126 | 794 | 1,03 | 97 100 | 77 100 000 | 0,0065 |
| 0,05 | 0,00159 | 629 | 1,30 | 91 300 | 57 400 000 | 0,0080 |
| 0,055 | 0,00196 | 510 | 1,61 | 62 100 | 31 700 000 | 0,0098 |
| 0,060 | 0,00283 | 354 | 2,32 | 43 100 | 15 300 000 | 0,014 |
| 0,07 | 0,00385 | 260 | 3,16 | 31 200 | 8 110 000 | 0,019 |
| 0,08 | 0,00503 | 199 | 4,13 | 24 200 | 4 810 000 | 0,025 |
| 0,09 | 0,00606 | 157 | 5,22 | 19 200 | 3 010 000 | 0,032 |
| 0,10 | 0,00785 | 127 | 6,44 | 15 500 | 1 970 000 | 0,039 |
| 0,11 | 0,0095 | 105 | 7,79 | 12 800 | 1 340 000 | 0,048 |
| 0,12 | 0,0113 | 88,5 | 9,27 | 10 800 | 959 000 | 0,056 |
| 0,13 | 0,0133 | 75,1 | 10,9 | 9 170 | 689 000 | 0,067 |
| 0,14 | 0,0154 | 65,0 | 12,6 | 7 940 | 516 000 | 0,077 |
| 0,15 | 0,0177 | 56,6 | 14,5 | 6 900 | 390 000 | 0,089 |
| 0,16 | 0,0201 | 49,8 | 16,5 | 6 060 | 302 000 | 0,11 |
| 0,18 | 0,0255 | 39,2 | 20,9 | 4 790 | 188 000 | 0,13 |
| 0,20 | 0,0314 | 31,9 | 25,8 | 3 880 | 124 000 | 0,16 |
| 0,22 | 0,0380 | 26,3 | 31,2 | 3 210 | 84 400 | 0,19 |
| 0,25 | 0,0491 | 20,4 | 40,3 | 2 480 | 50 500 | 0,25 |
| 0,30 | 0,0707 | 14,2 | 50,8 | 1 720 | 24 400 | 0,35 |
| 0,32 | 0,0804 | 12,4 | 65,9 | 1 520 | 18 800 | 0,40 |
| 0,35 | 0,0902 | 10,4 | 78,8 | 1 270 | 13 200 | 0,48 |
| 0,40 | 0,126 | 7,94 | 103 | 971 | 7 710 | 0,63 |
| 0,45 | 0,159 | 6,29 | 130 | 813 | 5 740 | 0,80 |
| 0,50 | 0,196 | 5,10 | 161 | 621 | 3 170 | 0,98 |
| 0,55 | 0,238 | 4,20 | 195 | 513 | 2 150 | 1,2 |
| 0,60 | 0,283 | 3,54 | 232 | 431 | 1 530 | 1,4 |
| 0,70 | 0,385 | 2,60 | 316 | 312 | 811 | 1,9 |
| 0,80 | 0,503 | 1,99 | 413 | 242 | 481 | 2,5 |
| 0,90 | 0,636 | 1,57 | 522 | 192 | 301 | 3,2 |
| 1,0 | 0,785 | 1,27 | 644 | 155 | 197 | 3,9 |
| 1,1 | 0,950 | 1,05 | 779 | 128 | 134 | 4,8 |
| 1,2 | 1,131 | 0,885 | 927 | 108 | 95,6 | 5,7 |
| 1,3 | 1,33 | 0,751 | 1090 | 91,7 | 68,9 | 6,7 |
| 1,5 | 1,77 | 0,565 | 4550 | 79,4 | 51,6 | 8,9 |
| 1,8 | 2,54 | 0,392 | 2090 | 47,9 | 18,8 | 13 |
| 2,0 | 3,14 | 0,319 | 2580 | 38,8 | 12,4 | 16 |
| 2,2 | 3,80 | 0,263 | 3120 | 32,1 | 8,44 | 19 |
| 2,5 | 4,91 | 0,204 | 4030 | 24,8 | 5,05 | 25 |
| 3,0 | 7,07 | 0,142 | 5800 | 17,2 | 2,44 | 35 |

Таблица 54

Рекомендуемые нагрузки в α для ферронихрома [3]; [13]; [17]

| № калибра по В345 | Диаметр в мм | Нагрузка в α при температуре в °С | | | | | | | | |
|-------------------|--------------|------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 |
| 1 | 7,341 | 54,2 | 100,0 | 136,0 | 169,0 | 201,0 | 225,0 | 254,0 | 280,0 | 308 |
| 2 | 6,553 | 45,9 | 84,5 | 115,0 | 143,0 | 170,0 | 191,0 | 215,0 | 237,0 | 261 |
| 3 | 5,326 | 38,9 | 71,5 | 97,5 | 121,5 | 144,0 | 162,0 | 182,0 | 201,0 | 221 |
| 4 | 5,190 | 38,0 | 60,6 | 82,6 | 103,0 | 122,0 | 137,0 | 154,0 | 170,0 | 187 |
| 5 | 4,619 | 28,0 | 51,4 | 70,0 | 87,0 | 103,0 | 116,0 | 130,0 | 144,0 | 158 |
| 6 | 4,115 | 23,8 | 43,5 | 59,4 | 73,3 | 87,4 | 98,7 | 110,0 | 122,0 | 134 |
| 7 | 4,665 | 20,2 | 36,8 | 50,3 | 62,5 | 74,0 | 83,7 | 93,5 | 104,0 | 113 |
| 8 | 3,264 | 17,1 | 31,2 | 42,6 | 53,0 | 62,6 | 71,0 | 79,2 | 87,6 | 962 |
| 9 | 2,906 | 14,5 | 26,4 | 36,1 | 44,8 | 53,0 | 60,0 | 67,1 | 74,3 | 81,5 |
| 10 | 2,588 | 12,3 | 22,4 | 30,6 | 38,0 | 44,8 | 51,2 | 57,0 | 63,1 | 68,8 |
| 11 | 2,304 | 10,4 | 19,0 | 25,9 | 32,2 | 38,0 | 43,4 | 48,3 | 53,5 | 58,3 |
| 12 | 2,052 | 8,8 | 16,1 | 22,0 | 27,3 | 32,1 | 36,8 | 40,8 | 45,3 | 49,4 |
| 13 | 1,830 | 7,45 | 13,6 | 18,6 | 23,1 | 27,2 | 31,0 | 34,6 | 38,4 | 41,9 |
| 14 | 1,628 | 6,31 | 11,5 | 15,8 | 19,6 | 23,0 | 26,2 | 29,3 | 32,4 | 35,5 |
| 15 | 1,450 | 5,35 | 9,77 | 13,4 | 16,6 | 19,5 | 22,3 | 24,8 | 27,6 | 30,2 |
| 16 | 1,290 | 4,54 | 8,28 | 11,35 | 14,1 | 16,5 | 18,9 | 21,0 | 23,4 | 25,6 |
| 17 | 1,149 | 3,85 | 7,02 | 9,60 | 14,1 | 14,0 | 16,0 | 17,8 | 19,8 | 21,7 |
| 18 | 1,023 | 3,26 | 5,95 | 8,13 | 10,1 | 11,8 | 13,6 | 15,1 | 16,8 | 18,4 |
| 19 | 0,911 | 2,76 | 5,04 | 6,88 | 8,6 | 10,1 | 11,55 | 12,8 | 14,2 | 15,6 |
| 20 | 0,810 | 2,32 | 4,27 | 5,83 | 7,30 | 8,58 | 9,70 | 10,85 | 12,0 | 13,2 |
| 21 | 0,723 | 1,97 | 3,62 | 4,94 | 6,17 | 7,23 | 8,21 | 9,20 | 10,2 | 11,2 |
| 22 | 0,643 | 1,67 | 3,07 | 4,18 | 5,23 | 6,13 | 6,96 | 7,80 | 8,65 | 9,46 |
| 23 | 0,574 | 1,42 | 2,60 | 3,54 | 4,43 | 5,19 | 5,90 | 6,61 | 7,33 | 8,02 |
| 24 | 0,510 | 1,20 | 2,20 | 3,00 | 3,75 | 4,40 | 5,00 | 5,60 | 6,20 | 6,80 |
| 25 | 0,454 | 1,02 | 1,86 | 2,54 | 3,18 | 3,73 | 4,25 | 4,67 | 5,27 | 5,76 |
| 26 | 0,403 | 0,865 | 1,58 | 2,15 | 2,70 | 3,16 | 3,61 | 3,96 | 4,47 | 4,88 |
| 27 | 0,360 | 0,734 | 1,34 | 1,82 | 2,28 | 2,68 | 3,06 | 3,36 | 3,80 | 4,13 |
| 28 | 0,320 | 0,622 | 1,13 | 1,54 | 1,85 | 2,27 | 2,62 | 2,86 | 3,23 | 3,50 |
| 29 | 0,287 | 0,527 | 0,960 | 1,305 | 1,67 | 1,93 | 2,22 | 2,45 | 2,71 | 2,97 |
| 30 | 0,254 | 0,447 | 0,814 | 1,105 | 1,33 | 1,64 | 1,89 | 2,08 | 2,30 | 2,52 |
| 31 | 0,226 | 0,378 | 0,680 | 0,935 | 1,13 | 1,39 | 1,60 | 1,77 | 1,95 | 2,14 |
| 32 | 0,203 | 0,321 | 0,577 | 0,791 | 0,955 | 1,18 | 1,36 | 1,50 | 1,66 | 1,81 |
| 33 | 0,180 | 0,272 | 0,490 | 0,670 | 0,809 | 1,00 | 1,15 | 1,28 | 1,41 | 1,53 |
| 34 | 0,160 | 0,231 | 0,416 | 0,567 | 0,685 | 0,849 | 0,980 | 1,06 | 1,18 | 1,29 |
| 35 | 0,142 | 0,196 | 0,353 | 0,480 | 0,580 | 0,720 | 0,830 | 0,90 | 1,00 | 1,09 |
| 36 | 0,127 | 0,166 | 0,300 | 0,406 | 0,591 | 0,611 | 0,704 | 0,765 | 0,850 | 0,924 |
| 37 | 0,113 | 0,141 | 0,254 | 0,344 | 0,416 | 0,518 | 0,597 | 0,650 | 0,721 | 0,783 |
| 38 | 0,100 | 0,120 | 0,216 | 0,291 | 0,352 | 0,440 | 0,507 | 0,552 | 0,613 | 0,663 |
| 39 | 0,089 | 0,101 | 0,183 | 0,246 | 0,298 | 0,373 | 0,430 | 0,467 | 0,517 | 0,566 |
| 40 | 0,080 | 0,085 | 0,155 | 0,208 | 0,252 | 0,316 | 0,364 | 0,396 | 0,439 | 0,480 |

Таблица 55

Термоэлектродвижущая сила термопар в мВ при температуре холодного спая $t = 0^\circ \text{C}$
[3]; [13]; [17]

| Температура горячего спая в $^\circ\text{C}$ | Платина-платиновый ТП. Градуировка 308 | Золото, платина, палладий, — платиновый ТБ. Градуировка 421 | Хромель-алюмель ТХ. Градуировка 5316 | Хромель-копель ТХК. Градуировка 592 | Железо-копель ТЖК. Градуировка 589 |
|----------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 0,63 | 2,97 | 4,09 | 6,90 | 5,75 |
| 200 | 1,42 | 6,40 | 8,13 | 14,65 | 12,00 |
| 300 | 2,31 | 10,60 | 12,20 | 23,10 | 18,30 |
| 400 | 3,29 | 15,12 | 16,40 | 31,53 | 24,60 |
| 500 | 4,27 | 19,96 | 20,64 | 40,15 | 30,90 |
| 600 | 5,27 | 25,00 | 24,90 | 49,00 | 37,40 |
| 700 | 6,31 | 30,38 | 29,14 | 57,75 | 44,10 |
| 800 | 7,38 | 35,70 | 33,31 | 66,40 | 51,15 |
| 900 | 8,48 | 41,00 | 37,35 | — | — |
| 1000 | 9,60 | 46,47 | 41,31 | — | — |
| 1100 | 10,76 | 51,80 | — | — | — |
| 1200 | 11,95 | 57,10 | — | — | — |
| 1300 | 13,12 | 62,42 | — | — | — |
| 1400 | 14,33 | — | — | — | — |
| 1500 | 15,52 | — | — | — | — |
| 1600 | 16,70 | — | — | — | — |

Таблица 56

Термоэлектродвижущая сила в мВ чистых металлов и сплавов при температуре холодного спая $t = 0^\circ \text{C}$

(знак + показывает, что ток идет по второму названному электроду) [13]; [17]

| Температура горячего спая в $^\circ\text{C}$ | Палладий—платина | Палладий 10% платина 90% — платина | Палладий 90% платина 10% — платина | Иридий—платина | Родий—платина | Золото—платина | Серебро—платина | Никель—серебро | Кобальт—медь |
|----------------------------------------------|------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|---------------|----------------|-----------------|----------------|--------------|
| -185 | +0,77 | — | — | -0,28 | -0,24 | -0,15 | -0,16 | — | — |
| -80 | +0,39 | — | — | -0,32 | -0,31 | -0,31 | -0,30 | +1,68 | — |
| 100 | -0,56 | +0,26 | -0,19 | +0,65 | +0,65 | +0,74 | +0,72 | -2,18 | -2,32 |
| 200 | -1,20 | +0,62 | -0,31 | +1,50 | +1,50 | +1,80 | +1,70 | -4,96 | -5,20 |
| 300 | -2,0 | +1,0 | -0,37 | +2,5 | +2,6 | +3,0 | +3,0 | -7,52 | -8,6 |
| 400 | -2,8 | +1,5 | -0,35 | +3,6 | +3,7 | +4,5 | +4,5 | -9,83 | -12,1 |
| 500 | -3,8 | +1,9 | -0,18 | +4,8 | +5,1 | +6,1 | +6,2 | -12,04 | -17,8 |
| 600 | -4,9 | +2,4 | +0,12 | +6,1 | +6,5 | +7,9 | +8,2 | -14,5 | -19,4 |
| 700 | -6,3 | +2,9 | +0,61 | +7,6 | +8,1 | +9,9 | +10,6 | -17,3 | -22,9 |
| 800 | -7,9 | +3,4 | +1,2 | +9,1 | +9,9 | +12 | +13,2 | -20,73 | -25,9 |
| 900 | -9,6 | +3,8 | +2,1 | +10,8 | +11,7 | +14,3 | +16,0 | -24,19 | -28,4 |
| 1000 | -11,5 | +4,3 | +3,1 | +12,6 | +13,7 | +16,8 | — | — | — |
| 1100 | -13,5 | +4,8 | +4,2 | +14,5 | +15,8 | — | — | — | — |

Таблица 57

Сплавы сопротивления

| Условия работы | | | Рекомендуемые сплавы |
|----------------|------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| № | Среда и футеровка | Рабочая температура в °С | |
| 1 | Воздушная | 1000—1200 800—1000 | Нихромы Ферронихромы Железохромистые |
| 2 | Водяной пар | 1200—1300 900—1100 | Нихромы Ферронихромы |
| 3 | Водород | 800—1000 1100—1300 1000—1200 1200—1400 до 2000 | Нихромы Ферронихромы Железохромистые с алюминием Молибден |
| 4 | Азот | 800—1000 900—1100 1000—1200 | Никель Чистое железо Нихромы с минимальным содержанием железа |
| 5 | Углеводороды, окись углерода | 800—1000 | Нихромы; железонихромистые сплавы с повышенным содержанием алюминия |
| 6 | Сернистые газы и сероводород | 700—800 | Ферронихромы с повышенным содержанием железа и железистоалюминиевых сплавов |
| 7 | Аммиак | 900—1100 | Чистые нихромы с максимальным содержанием никеля |
| 8 | Галоиды (хлор, бром и др.) | 200—300 | Чистые нихромы, нихромы с повышенным содержанием кремния и молибдена |
| 9 | Шамот, глинозем, корундиз | см. п. 1 | Те же, что в п. 1 |
| | Эмали, шлаки, стекло | 900—1100 | Нихромы с минимальным содержанием железа и марганца |
| | Кизельгур | 700—800 | Ферронихромы с минимальным содержанием никеля и железистохромистоалюминиевые сплавы |
| | Асбест | 300—400 | Нихромы |

СПЛАВЫ ЦИНКА

Технический цинк

Цинк—химический элемент II группы периодической системы Менделеева с порядковым номером 30 и атомным весом 65, 38. Изотопы — 64, 66, 68, 67 (65), 70 и (69). Цинк и его сплавы легко обрабатываются давлением — прокаткой, прессованием, волочением и штамповкой.

Физические свойства. Цинк—металл синевато-серебристого цвета. Кристаллическая структура — гексагональная, компактная с параметрами решетки:

$$a_0 = 2,6597 \text{ \AA} \text{ и } c_0 = 4,9367 \text{ \AA} \text{ при } 25^\circ \text{ С.}$$

Цинк обладает большим коэффициентом термического расширения.

Физические свойства цинка

| | |
|-----------------------------------------|-------|
| Атомный вес | 65,38 |
| объем | 9,16 |
| Плотность при 27° С в Г/см ³ | 7,13 |
| Температура плавления (99,94%) в °С | 419,4 |
| Скрытая теплота плавления в кал | 24,09 |
| Температура кипения в °С | 907 |

| | |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Скрытая теплота парообразования в кал | 425,6 |
| Удельная теплоемкость при 0° и 100° в кал/г °С | 0,0875 и 0,0965 |
| Теплопроводность при 0° в кал/см·сек °С | 0,30 |
| Температурный коэффициент теплопроводности | 0,15·10 ⁻³ |
| Коэффициент линейного расширения: | |
| α _{20—100°} | 3,95·10 ⁻⁵ |
| α _{20—200°} | 3,97·10 ⁻⁵ |
| Удельное электросопротивление ρ в ом·мм ² /м | 0,062 |
| Температурный коэффициент электросопротивления α _ρ | 4,17·10 ⁻³ |
| Поверхностное натяжение при 450° в дин/см | 755 |
| Модуль нормальной упругости E в кг/мм ² | 8000—10 000 |
| Модуль сдвига g в кг/мм ² | 3800 |

Химические свойства. При нагревании на воздухе цинк окисляется. При высокой температуре сгорает в окись цинка (ZnO) белого цвета. Во влажном воздухе окисляется только тонкая поверхностная пленка металла, благодаря чему цинк применяется для покрытия других легко окисляющихся металлов.

Таблица 58

Цинк (по ГОСТ 3640-47)

| Марка цинка | Химический состав в % | | | | | |
|-------------|-----------------------|-------------------|-------|-------|-------|----------------|
| | Zn | Примесей не более | | | | Всего примесей |
| | | Pb | Fe | Cd | Cu | |
| ЦВ | 99,99 | 0,005 | 0,003 | 0,002 | 0,001 | 0,01 |
| ЦО | 99,96 | 0,015 | 0,010 | 0,010 | 0,001 | 0,04 |
| Ц1 | 99,94 | 0,024 | 0,015 | 0,014 | 0,002 | 0,06 |
| Ц2 | 99,90 | 0,05 | 0,04 | 0,02 | 0,002 | 0,1 |
| Ц3 | 98,7 | 1,0 | 0,07 | 0,2 | 0,005 | 1,3 |
| Ц4 | 97,5 | 2,0 | 0,15 | 0,2 | 0,05 | 2,5 |

Примечания: 1. В марках цинка Ц1, Ц2, Ц3, идущих на изготовление медноцинковых сплавов, примесь меди не нормируется.
2. В марках ЦВ, ЦО, Ц1 и Ц2 присутствие олова до 0,001% считается допустимым.
Кроме указанных в табл. 58 примесей, в марке Ц3 допускается до 0,01% As, 0,02% Sb и 0,002% Sn; в марке Ц4 до 0,01% As, 0,02% Sb и 0,05% Sn.

Методы химического анализа по ГОСТ 2085-48.

незначительна. Свинец в присутствии олова весьма отрицательно влияет на обрабатываемость цинка в горячем состоянии.

Примеси свинца, железа, висмута, сурьмы и мышьяка отрицательно влияют на технические свойства цинка. Эти примеси практически нерастворимы в цинке в твердом состоянии. Железо также задерживает рекристаллизацию и способствует получению жестких наклепанных листов. Медь и кадмий вредного влияния не оказывают.

В табл. 58 приведены основные торговые марки цинка, их химический состав, а также их примерное назначение.

Механические свойства и некоторые технологические характеристики приведены в табл. 59.

Цинковые сплавы

Сплавы на основе цинка с добавками алюминия, меди и магния отличаются хорошими механическим и технологическими свойствами.

Цинковые сплавы применяются для обработки давлением и для фасонного литья под давлением.

Особое значение цинковые сплавы приобретают как заменители подшипниковых оловянистых бронз и баббитов.

Цинковые сплавы типа ЦАМ 10-5 отличаются высокими антифрикцион-

Цинк (технический) легко растворяется в кислотах и в щелочах.

Примеси в техническом цинке и его торговые марки. Растворимость олова в цинке весьма

Химический состав, физические и механические

| Сплав | Марка сплава | Химический состав в % (Zn — остальное) | | | Верхняя критическая точка в °C | Удельный вес | Теплопроводность λ в кал/см·сек·°C |
|-------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------|------------------------------|--------------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| | | Al | Cu | Mg | | | |
| Алюминиевомедноцинковый | ЦАМ10-5* ЦАМ9-1,5* ЦАМ4-0,5 ЦАМ5-10 | 9—12 | 4—5,5 | 0,03—0,06 | 395 | 6,3 | 0,24 |
| | | 8—11 | 1—2 | 0,03—0,06 | 420 | 6,2 | 0,23—0,24 |
| | | 4 | 0,5—1,0 | 0,03 | 390 | 6,7 | 0,22—0,24 |
| | | 5 | 10 | — | — | — | — |
| | | ЦАМ0,2-4 | 0,2 | 4 | 0,02—0,05 | — | 7,25 |
| | ЦАМ4-3 ЦАМ4-0,08 ЦАМ4-1 ЦАМ4-2,7 | 4 3,9—4,3 4 4 | 3 0,08 1 2,7 | 0,03 0,06 0,05 0,05 | 400 390 390 420 | 6,75 6,8 6,9 7,0 | — — 0,22—0,25 — |
| Алюминиевоцинковый | ЦАМ4-1 ЦАМ10-2 | 4 10 | 1 2 | 0,03 0,03 | 390 — | 6,68 6,21 | — — |
| | | 15 | — | — | — | 5,75 | — |
| Медноцинковый | ЦА15 ЦМ1 | — — | — 1 | — — | — — | — — | — — |

* По ГОСТ 7117-54.

Таблица 59

Механические свойства и технологические характеристики цинка [13]

| Состояние металла | Наименование свойства | Показатели | Состояние металла | Наименование свойства | Показатели |
|-------------------|-----------------------------------------------------------|------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------|
| Обработанный | Предел прочности при растяжении $\sigma_{вр}$ в $кг/мм^2$ | 10—22 | — | Температура горячей обработки в $^{\circ}C$ | 120—170 |
| Литой | То же | 2—7 | — | Температура начала рекристаллизации в $^{\circ}C$ | 20 |
| Обработанный | Предел текучести σ_T в $кг/мм^2$ | 7,5 | Сильно наклепанный электролитический | Температура массовой рекристаллизации в $^{\circ}C$ | 80—100 |
| Прессованный | Относительное удлинение δ в % | 40—50 | — | Линейная усадка в % | 1,57 |
| Прокатанный | Относительное сужение ψ в % | 60—80 | — | Температура изложницы в $^{\circ}C$ | 80—100 |
| Литой | Ударная вязкость a_H в $кг/см^2$ | 0,6—0,75 | — | Смазка | Нет |
| — | Твердость H_B в $кг/мм^2$ | 31 | — | Флюс | Не применяется |
| — | Температура литья в $^{\circ}C$ | 430—450 | — | | |

ными свойствами и успешно применяются для изготовления втулок и подшипников, работающих при удельном давлении до 200 кг/см^2 и скорости 1—1,5 м/сек. При пониженных удельных давлениях

эти сплавы хорошо работают при скорости до 7 м/сек.

Химический состав, физические и механические свойства цинковых сплавов приведены в табл. 60.

Таблица 60

свойства цинковых сплавов [7]; [14]

| Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ | Предел прочности при растяжении $\sigma_{вр}$ в $кг/мм^2$ | Относительное удлинение δ в % | Ударная вязкость a_H в $кг/см^2$ | Твердость H_B в $кг/мм^2$ | Коэффициент трения | | Линейная усадка в % | Область применения |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|--------------------|------------|---------------------|----------------------------------------------|
| | | | | | со смазкой | без смазки | | |
| 27 | 28—30 | 0,5—1,5 | 1,0 | 95—100 | 0,009 | 0,35 | 1,0 | Подшипниковые сплавы |
| 27—30 | 28—32 | 0,7—1,5 | 1—1,2 | 90—105 | — | — | — | |
| 27—30 | 20—25 | 0,6—1,2 | — | 80—100 | — | — | — | |
| — | — | — | 0,6 | 117 | 0,0085 | 0,29 | — | — |
| 26—30 | 30—36 | 25—40 | 1,2 | 80—90 | — | — | — | Для прессования, прокатки и глубокой вытяжки |
| — | 29—35 | 2—7 | — | 90—110 | — | — | — | Для литья под давлением |
| — | 27 | 3,5 | — | 77 | — | — | 1,2—1,6 | |
| — | 30 | 5 | — | 89 | — | — | — | |
| — | 37 | 7,5 | — | 90 | — | — | — | |
| — | 36—40 | 8—10 | 1,5—2 | 85—95 | — | — | — | Для прессования |
| — | 40—40 | 6—14 | 1,7—2,2 | 100—120 | — | — | — | |
| — | 44—48 | 5—8 | 2,2 | 105—115 | — | — | — | |
| — | >20 | 25 | — | >50 | — | — | — | |

СПЛАВЫ СВИНЦА

Технический свинец

Свинец — химический элемент IV группы периодической системы Менделеева с порядковым номером 82 и атомным весом 207,22. Изотопы — 204, 206, 207, 208.

Физические свойства. Свинец — мягкий металл синевато-серого цвета. Кристаллическая структура — кубическая гранцентрированная с параметрами решетки 4,9389 Å. Основные физические свойства свинца:

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Атомный вес | 207,22 |
| " объем | 18,3 |
| Плотность γ в Гсм ³ | 11,34 |
| Температура плавления в °С | 327,3 |
| " кипения в °С | 1619 |
| Теплопроводность при 0°С λ в кал·см·сек ⁻¹ ·°С | 0,093 |
| Коэффициент линейного расширения α ₂₀ —100 | 29,5·10 ⁻⁶ |
| Удельное электросопротивление ρ в ом·мм ² /м при 0°С | 0,19 |
| Удельное электросопротивление ρ в ом·мм ² /м при 20°С | 0,206 |
| Температурный коэффициент электросопротивления при 0—100°С α _ρ | 4,21·10 ⁻³ |
| Модуль нормальной упругости E в кг/мм ² | 1500—1900 |

Химические свойства. Свинец хорошо растворяется только в азотной кислоте. Серная и соляная кислоты действуют на свинец с поверхности, образуя тонкие пленки солей, предохраняющие его от дальнейшего изменения. На воздухе (влажном) свинец быстро тускнеет, покрываясь тонким слоем своей окиси и отчасти основной углекислой соли.

Примеси в техническом свинце и его торговые марки. Медь повышает устойчивость против действия серной кислоты. Примеси висмута сильно снижают кислотоупорность. Олово и кадмий увеличивают способность сопротивляться сотрясениям и вибрации, причем кадмий одновременно повышает твердость. Цинк способствует коррозии. Незначительная примесь сурьмы повышает твердость свинца и отчасти устойчивость против серной кислоты. В табл. 61 приведены основные торговые марки свинца, их химический состав и назначение.

Механические свойства технического свинца указаны в табл. 62.

Свинцовые сплавы

В табл. 63 приведены химический состав и механические свойства свинцовых сплавов.

Таблица 61

Свинец (по ГОСТ 3778-47)

| Марка свинца | Химический состав в % | | | | | | | | | | | Всего приме-сей |
|--------------|-----------------------|-------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-----------------|
| | Pb | Примесей не более | | | | | | | | | | |
| | | Ag | Cu | As | Sb | Sn | Zn | Fe | Bi | Mg | Ca+Na | |
| СВ | 99,992 | 0,0003 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,004 | 0,003* | | 0,008 |
| СО | 99,99 | 0,0005 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,005 | 0,003* | | 0,01 |
| С1 | 99,98 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,004 | 0,002 | 0,001 | 0,002 | 0,006 | 0,003* | | 0,02 |
| С2 | 99,95 | 0,0015 | 0,001 | 0,002 | 0,005 | 0,002 | 0,002 | 0,003 | 0,03 | 0,005 | 0,02 | 0,05 |
| С3 | 99,9 | 0,002 | 0,002 | 0,005 | 0,01 | | 0,005 | 0,005 | 0,06 | 0,01 | 0,04 | 0,1 |
| С4 | 99,5 | 0,002 | 0,09 | | 0,25** | | 0,10 | 0,01 | 0,10 | 0,02 | 0,10 | 0,5 |

Примерное назначение: СВ — аккумуляторная промышленность — особо ответственное применение; СО — изготовление поверхностных аккумуляторных пластин, свинцового аккумуляторного порошка и матричных пластин полиграфической промышленности; С1 — изготовление аккумуляторного сурика, глета и сеток общего назначения, спецрубашек и др.; С2 — химическая промышленность: листы для футеровки кислотоупорных устройств и трубы; С3 — изготовление припоев, баббитов марок МН, Б16, Б5 и БТ, кабельных оболочек, красок, типографских сплавов, производство дроби; С4 — горячее свинцевание, изготовление баббита БК, закалочных ванн, сердечников пульт, зачеканка водопроводных труб.

Методы химического анализа по ГОСТ 2076-48.

* Mg + Ca + Na.

** As + Sb + Sn.

Механические свойства технического свинца [14]; [15]; [16]

Таблица 62

| Марка и состояние металла | Обозначение и размерность | Показатель |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| СЗ, прессованный | $\sigma_{вр}$ в $кг/мм^2$ σ_T " " σ_y " " σ_{-1}^* " " $\sigma_{пл}^{**}$ δ в % ψ в % H_B в $кг/мм^2$ | 1,5 |
| СО, прокатанный | | 1,1 |
| СО | | 0,5 |
| СО | | 0,25 |
| СО, прессованный | | 0,42 |
| СО, при нагрузке 0,1 $кг/мм^2$ | | 0,1 |
| СО и СЗ, при нагрузке 0,25 $кг/мм^2$ | | 1,0 |
| СО, прокатанный | | 68 |
| | | 92—100 |
| | | 2,9—4,8 |

* При 10^7 циклов. ** Скорость ползучести 10^{-4} % в 1 час.

Состав и механические свойства свинцовых сплавов [14]; [15]; [16]

Таблица 63

| Сплав | Химический состав в % (Pb — остальное) | | | | | Механические свойства | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------|------|------|-----------------|-----------------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------|-------|-------------------------------------|--------------------------------|
| | Sn | Sb | Cu | Te | Прочие | $\sigma_{вр}$ | σ_{-1}^* | $\sigma_{пл}^{**}$ в $кг/мм^2$ | Пластичность при изгибе (число из- гибов при 20° С) | δ в % | H_B | Верхняя критиче- ская точка в °С | Область применения |
| Сплав для кабельных оболочек (прессованный и отожженный при 100° С) | — | — | — | — | — | 1,5 | 0,42 | 0,1 | 42 | 52 | 4,4 | 327 | Кабели высокого напряжения |
| То же | — | 0,5 | — | — | — | 1,9 | 0,66 | 1,8 | 23 | 49 | 5,7 | 324 | Телефонные и морские кабели |
| " | — | — | 0,06 | — | — | 1,4 | 0,43 | $\leq 0,03$ | 50 | 67 | 4,6 | 327 | Кабели высокого напряжения |
| " | — | — | — | 0,06 | — | 1,8 | 0,51 | $\leq 0,03$ | 49 | 48 | 5,8 | 327 | Телефонные и морские кабели |
| " | 2 | — | — | — | — | 2,1 | 0,69 | 1,0 | 20 | 56 | 6,1 | 324 | Телефонные кабели |
| " | — | 0,5 | — | — | 0,25Cd | 2,1 | 0,66 | 1,2 | 20 | 41 | 6,0 | — | Морские кабели |
| Сплав для аккумуляторов | — | 6 | — | — | — | 4,75 | — | — | — | — | 13 | 290 | Аккумуляторные решетки |
| Типографский сплав | 4 | 23 | 1 | — | — | — | — | — | — | — | 28 | 390 | Отливка шрифтов |
| То же | 7 | 16 | — | — | — | — | — | — | — | — | 25,5 | 271 | Отливка стереотипов |
| " | 5 | 14 | — | — | — | — | — | — | — | — | 21 | 270 | То же |
| " | 4,6 | 11,5 | — | — | — | — | — | — | — | — | 24 | 245 | Отливка строк машинного набора |
| " | 10 | 10 | — | — | — | 5,6 | — | — | — | 1,5 | 23 | — | Крупная дробь |
| Сплав для литья дроби | — | — | — | — | 0,06— 0,2As | — | — | — | — | — | 4,5 | 325 | Крупная дробь |
| То же | — | 0,5—0,1 | — | — | 0,02— 0,04Na | — | — | — | — | — | 6,0 | 320 | Мелкая " |
| " | — | 1,0—1,5 | — | — | 0,02— 0,04Na | — | — | — | — | — | 6,5 | 325 | Дробь повышенной твердости |

* При вибрации (10^7 циклов).** Скорость ползучести 10^{-4} % в час при нагрузке 0,1 $кг/мм^2$ в прессованном состоянии.

СПЛАВЫ АЛЮМИНИЯ

Технический алюминий

Алюминий — химический элемент III группы периодической системы Менделеева с порядковым номером 13 и атомным весом 26,97. Широко применяется в промышленности, в особенности в самолетостроении, как в чистом виде, так и в виде сплавов.

Физические свойства. Алюминий — серебристый металл с голубоватым оттенком. Кристаллическое строение — куб с центрированными гранями. Параметр решетки 4,0414 Å. Элементарная ячейка содержит четыре атома. Физические свойства алюминия зависят от его чистоты и способа обработки. Главнейшие из них:

| | |
|----------------------------------------------------|-----------------------|
| Атомный вес | 26,97 |
| объем | 10,0 |
| Плотность (99,97% Al) при 20° С | |
| ↑ в Гсм ³ | 2,6996 |
| Плотность (99,5% Al) при 20° С | |
| ↑ в Гсм ³ | 2,7060 |
| Плотность (99,5% Al) при 658,7° | |
| в твердом состоянии | 2,550 |
| Плотность (99,15% Al) при 658,7° С | |
| в жидком состоянии | 2,382 |
| Плотность (99,5% Al) при 700° С | 2,372 |
| Температура плавления (99,6% Al) | |
| в °С | 658,7 |
| Скрытая теплота плавления | |
| в кал/Г | 92,4 |
| Увеличение объема при плавлении | |
| в % | 6,5 |
| Температура кипения при 760 мм | |
| рт. ст. в °С | 1800 |
| То же при 0,1 мм рт. ст. в °С | 885 |
| Скрытая теплота парообразования | |
| в кал/Г | 2227 |
| Удельная теплоемкость в твердом | |
| состоянии при 20° С в кал/Г °С | 0,214 |
| Удельная теплоемкость в жидком | |
| состоянии в кал/Г °С | 0,308 |
| Теплопроводность при 20° С λ | |
| в кал/см·сек °С | 0,5 |
| Теплота образования Al ₂ O ₃ | |
| в кал/Г·моль | 380,2 |
| Коэффициент линейного расширения | |
| α _{20—100} | 23,8·10 ⁻⁶ |
| То же, α _{200—300} | 27,5·10 ⁻⁶ |
| „ α _{500—600} | 33,5·10 ⁻⁶ |
| Электросопротивление (99,5% Al) | |
| при 20° С ρ в ом·мм ² /м | 0,028—0,03 |
| Температурный коэффициент | |
| электросопротивления | 0,0041 |
| Удельная электропроводность при | |
| 0° в м/ом·мм ² | 33—36 |
| Поверхностное натяжение при | |
| 720—800° С в дин/см | 520 |
| Стандартный электродный потенциал | |
| в в | -1,67 |
| Электрохимический эквивалент | |
| в Г/а·ч | 0,3334 |

Химические свойства. Алюминий — трехвалентный элемент. Растворим в HCl и H₂SO₄ с выделением водорода и образо-

ванием AlCl₃ и Al₂(SO₄)₃, а также в щелочах; нерастворим в концентрированной HNO₃ благодаря ее окисляющему действию. Алюминий обладает большим сродством к кислороду и при нагреве с окислами многих металлов может их восстанавливать: 2Al + Fe₂O₃ = 2Fe + Al₂O₃ (алюминотермия).

На поверхности алюминия образуется защитная пленка из стойкого окисла, делающая его малоактивным при обычной температуре. Окисная пленка сохраняет свои защитные свойства и при высоких температурах, в процессе плавления.

Теплота образования окиси алюминия очень велика. Порошкообразный алюминий и кислород (в особенности жидкий) образуют взрывчатую смесь. Алюминий непосредственно соединяется с галогенами, образуя соответствующий галогенид алюминия (например, 2Al + 3Cl₂ = 2AlCl₃); при повышенных температурах алюминий образует с азотом нитрид алюминия (AlN), с углеродом — карбид алюминия (Al₄C₃), с серой — сульфид алюминия (Al₂S₃).

Плотная пассивирующая пленка Al₂O₃ защищает алюминий от коррозии на воздухе и в некоторых других средах. Чем чище алюминий, тем выше его сопротивление коррозии.

В табл. 64 приведены данные, характеризующие влияние различных сред на коррозионную стойкость алюминия и его сплавов по сравнению с железом.

Механические свойства. Алюминий, как правило, не применяется для фасонного литья из-за низких литейных и механических свойств. Для производства различных полуфабрикатов обработкой давлением он находит широкое применение. В табл. 65 даны механические свойства литого алюминия различной чистоты, в табл. 66 — типичные механические свойства деформированных изделий и в табл. 67 — гарантируемые механические свойства различных полуфабрикатов.

Примеси в алюминии и его торговых марки. Основные металлургические примеси — железо и кремний, которые несколько повышают прочность алюминия, заметно снижая пластичность (в особенности железо) и сопротивление коррозии. В незначительных количествах в алюминии присутствуют также цинк, медь, титан, ванадий, кальций и др.

Таблица 64

Влияние различных сред на коррозионную стойкость алюминия и его сплавов

| Среда | Алюминий | Алюминиевые сплавы | Железо |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------------|--------|
| Вода (болотная, содержащая углекислоту) | х | х | п |
| Морская и минеральная вода | х | с | п |
| Воляной пар сухой | х | х | с |
| Насыщенный воляной пар | с | с | с |
| Атмосфера большого города | х | с | оп |
| Чистый, но сырой воздух при 40° С | с | с | оп |
| Азот, сера | х | х | с |
| Иод, хлор, бром, фтор | п | п | с |
| Соляная, серная, фосфорная и сернистая кислоты | п | п | п |
| Азотная кислота | с | с | с |
| Двуокись углерода, доменный газ, дымовые газы | х | с | п |
| Водные растворы сульфатов алюминия, квасцов железных, цинковых и медных | п | п | п |
| Углекислый калий | п | п | п |
| Растворы K_2CrO_4 и $K_2Cr_2O_7$ | х | х | с |
| Окись цинка, окись хрома | х | х | с |
| Соли ртути | п | п | п |
| Аммиак (растворы) | с | с | п |
| Щелочи | с | п | х |
| Цемент, бетон, гипс | с | с | х |
| Нейтральные жиры и масла, углеводороды (сахар, целлюлоза) | х | х | х |
| Глицерин, олифа | х | х | х |
| Бензол, бензин | х | х | с |
| Смесь бензина и спирта, бензин низкого качества | п | с | с |
| Мыло, парафин, воск, стеарин, молочная кислота | х | с | п |
| Муравьиная кислота, анилин, чернила | п | п | — |
| Нитроглицерин, нафтол, дианистые соединения | с | с | с |
| Алкоголь, виноградный сахар | х | х | — |
| Лимонная кислота, пиво, уксусная кислота, вино | с | с | п |
| Молоко, фруктовый сок, сыр | х | с | оп |
| Винная кислота | п | п | оп |

Примечание: обозначения: х — хорошее сопротивление металла данному реагенту; с — слабое; п — плохое; оп — очень плохое.

Таблица 65

Типичные механические свойства литого алюминия различной чистоты

| Чистота Al в % | $\sigma_{вр}$ в КГ/ММ ² | σ_T в КГ/ММ ² | δ в % | H_B в КГ/ММ ² |
|----------------|------------------------------------|---------------------------------|--------------|----------------------------|
| 99,996* | 5,0 | — | 45 | 13—15 |
| 99,5* | 7,5 | — | 29 | 20 |
| 99,0* | 8,5 | — | 20 | 25 |
| 99,0** | 9,0 | — | 25 | 25 |
| 98,0* | 9,0 | 3,5 | 12,5 | 28 |

* Литой в землю.

** Литой в кокиль.

Таблица 66

Типичные механические свойства деформированных изделий из алюминия чистоты 99,0%

| Свойства | Отожженный АМ | Нагартованный АН |
|------------------------------------|---------------|------------------|
| $\sigma_{вр}$ в КГ/ММ ² | 9 | 14 |
| σ_T " | 3 | 10 |
| σ_{-1} " | 4 | 5 |
| E " | 7200 | 7200 |
| G " | 2700 | 2700 |
| δ в % | 30 | 12 |
| ψ в % | 80 | 60 |
| H_B в КГ/ММ ² | 25 | 32 |

Алюминий, близкий по чистоте к химически чистому металлу (99,9 — 99,99% Al), отличается высокими электропроводностью, пластичностью и сопротивлением коррозии при пониженных значениях прочности.

Таблица 67

Гарантируемые (минимальные) механические свойства алюминиевых полуфабрикатов

| Полуфабрикаты | | Состояние материала | Механические свойства | |
|-----------------------------------------|---------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|
| Наименование и марка | Размеры в мм | | $\sigma_{вр}$ в КГ/ММ ² | δ в % |
| Листы (В328-СМТУ) | Толщина | Нагартованный Отожженный " | 11 | 6 |
| | 0,3—10,0 | | 11 | 20 |
| | 0,3—0,8 1,0—10,0 | | 11 | 25 |
| Прутки (В107-АМТУ) То же (В109-АМТУ) | Все размеры " | Нагартованный Отожженный | 11 < 11 | 6 25 |
| | Трубы (В109-АМТУ) | | Толщина стенки до 2 2,5—5,0 Все размеры | Нагартованный Отожженный |

Классификация первичного алюминия в чушках (ГОСТ 3549-47)

| Торговые марки | Химический состав в % | | | | | | Примерное назначение |
|----------------|-----------------------|--------------------|--------------|----------------|----------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Al не менее | Примесей не более: | | | | | |
| | | Fe | Si | Fe + Si | Cu | Всего | |
| AB1 AB2 | 99,90 99,85 | 0,06 0,10 | 0,06 0,08 | 0,095 0,142 | 0,005 0,008 | 0,10 0,15 | Для электролитических конденсаторов, особой химической аппаратуры, исследовательских и других специальных целей |
| A00 A0 | 99,7 99,6 | 0,16 0,25 | 0,16 0,20 | 0,26 0,36 | 0,01 0,01 | 0,30 0,40 | Для фольги, особых случаев лакировки, кабельных и токопроводящих изделий, алюминиевых сплавов специального назначения и для химической промышленности |
| A1 | 99,5 | 0,30 | 0,30 | 0,45 | 0,015 | 0,50 | Для кабельных и токопроводящих изделий, алюминиевых сплавов, лакировки, фольги, красочной пудры и посуды, применяемой при варке пищи |
| A2 | 99,0 | 0,50 | 0,50 | 0,90 | 0,02 | 1,0 | Для сплавов на алюминиевой и других основах, алюминиевой посуды, для кабельных и токопроводящих изделий и специальных лигатур |
| A3 | 98,0 | 1,1 | 1,0 | 1,80 | 0,05 | 2,0 | Для подшихтовки алюминиевых сплавов, лигатур, алюминотермии и для изделий широкого потребления |

Примечание. Методы химического анализа по ГОСТ 2530-48; методы спектрального анализа по ГОСТ 3221-46.

В табл. 68 приведена классификация первичного алюминия (в чушках) с допустимым содержанием примесей и примерным назначением торговых марок.

Литейные алюминиевые сплавы

Основные компоненты литейных алюминиевых сплавов — Si, Cu, Mg и Zn — резко изменяют механические свойства, входят в сплавы в больших количествах и могут давать композиции, способные к упрочнению в результате термообработки (за исключением двойных сплавов Al — Si).

Второстепенные компоненты — Mn, Ni и Cr — присутствуют в меньших количествах и дают меньший эффект упрочнения. Fe является вредной примесью для сплавов Al — Si, Al — Mg и большинства упрочняемых термообработкой сплавов. Вместе с тем Fe является полезным и обязательным ком-

понентом в жаропрочных сплавах, в особенности в композиции с никелем.

Улучшающие добавки — титан, натрий, церий и др., вводимые в незначительных количествах в соответствующие сплавы, существенно влияют на их структуру и механические свойства.

Литейные сплавы должны обладать хорошими литейными и механическими свойствами. Наилучшие литейные свойства обеспечивают сплавы эвтектического типа или со значительным содержанием эвтектики. Наиболее высокие механические свойства обеспечивают твердые растворы и сплавы с ограниченной областью твердого раствора, меняющейся с температурой. Однако они обладают плохими или пониженными литейными свойствами. Наибольшее распространение в технике получили сложные составы, содержащие эвтектику (Al — Si) и некоторое количество компонентов или химических соединений

(CuAl_2 , Mg_2Si , MgZn_2 , CuMgAl_2 и др.), растворяющихся в алюминии с повышением температуры

Упрочнение термообработкой такого рода сплавов основано на применении нагрева до температуры, близкой к температуре максимальной растворимости с последующей закалкой. Закаленное состояние является неустойчивым, и при соответствующей температуре наблюдается самопроизвольное возвращение сплава к устойчивому состоянию — отпуск или старение, сопровождающееся выделением мельчайших частиц новой фазы промежуточного строения и заметным повышением прочности.

При соответствующем повышении температуры эта неустойчивая фаза переходит в устойчивую форму. Здесь имеет место процесс коагуляции у центров распада и, как результат, — падение эффекта упрочнения.

Наиболее эффективными упрочнителями являются соединения CuAl_2 , Mg_2Si , MgZn_2 , тройная фаза S (CuMgAl_2), четверная фаза W ($\text{CuMg}_5\text{Si}_4\text{Al}_4$ или $\text{CuMg}_4\text{Si}_4\text{Al}_x$) и др.

Наиболее удачное сочетание литейных и механических свойств дают сплавы системы Al—Si, с добавками Mg, Cu и Zn.

Химические составы современных сплавов приведены в табл. 69, механические свойства — в табл. 70, физические свойства — в табл. 71 и технологические свойства — в табл. 72.

Сплавы Al—Si (силумины) хорошо отливаются в земляные формы и кокилы. При содержании 8—14% Si к ним применяется процесс модифицирования (обработка расплава металлическим Na или смесью $\frac{1}{3}\text{NaCl} + \frac{2}{3}\text{NaF}$ или тройной смесью хлоридов K и Na и NaF), превращающий грубую эвтектику в мелкозернистую. Эвтектический модифицированный сплав приобретает структуру доэвтектических сплавов, состоящую из первичных выделений Al и мелкозернистой эвтектики. Процесс сопровождается значительным подъемом механических свойств. Двойные силумины термически не упрочняются. Наиболее вредна примесь Fe, образующая с Al и Si тройную фазу α (Al—Fe—Si) с возможной формулой Fe_2SiAl_7 и фазу FeSiAl_5 . Наличие этих фаз, а также FeAl_3 снижает прочность и пластические свойства. Для борьбы с Fe рекомендуются небольшие добавки Mn (не выше 0,3%).

Добавление Cu к силумину вызывает повышение твердости, пределов текучести и прочности, улучшает обрабатываемость резанием. Содержание Cu не должно превосходить 3%, если важно сохранение пластичности. Типичный представитель — сплав АЛ6, применяемый для отливок сложной конфигурации (детали карбюраторов и арматура авиадвигателей). Сопrotивление коррозии хуже, чем у Al—Si.

Добавление к сплавам Al—Si небольших количеств магния (0,4—0,8%) обеспечивает высокий эффект упрочнения при термообработке.

Введение Mg понижает литейные свойства, вызывая появление пористости, для борьбы с которой применяется кристаллизация под давлением по методу А. А. Бочвара и А. Г. Спасского. Рекомендуется добавка небольших количеств марганца для улучшения прочностных характеристик и обрабатываемости резанием. Типичные представители — сплавы АЛ4 и АЛ9, близкие по своим химическим составам. Сплав АЛ4 применяется для отливки крупных нагруженных деталей двигателей (блоки головок, рубашки цилиндров, картеры и т. п.). Сплав АЛ9 — для деталей средней нагруженности и сложной конфигурации, а также для свариваемых деталей.

При снижении Si до 4—6% возможно получение хороших литейных сплавов путем добавки 1,5—3% Cu и 0,2—0,8% Mg. Эти сплавы упрочняются за счет калкой и старения, обладают хорошими литейными свойствами и лучшей обрабатываемостью резанием, чем АЛ4 и АЛ9. Для борьбы с пористостью рекомендуется кристаллизация под давлением. Наиболее распространенным представителем этой группы является сплав АЛ5.

Двойные сплавы Al—Cu с 8—12% Cu — наиболее старые литейные сплавы, уступившие свое место описанным выше сплавам. Из современных термически упрочняемых сплавов известен АЛ7, который обладает посредственными литейными свойствами, улучшаемыми иногда добавкой 2—3% Si. Обрабатываемость резанием хорошая, сопротивление коррозии в закаленном состоянии удовлетворительное. Увеличение содержания меди до 8—12% улучшает литейные свойства и обрабатываемость резанием. Сплавы с 12—14% Cu и добавками 1—1,5% Fe

Таблица 69

Литейные алюминиевые сплавы (по ГОСТ 2685-53)

| Марка сплава | Химический состав в % (алюминий — остальное) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|----------------------------------------------|-----------|----------|----------|-------------|-------------------|--------|---------|----------|------|------|-------|--------|--------|---|---|---|
| | Основные компоненты | | | | | Примесей не более | | | | | | | | | | | |
| | Магний | Кремний | Марганец | Мель | Прочие | Железо | Магний | Кремний | Марганец | Мель | Цинк | Олово | Никель | Прочие | З | К | Д |
| АЛ1 | 1,25—1,75 | — | — | 3,75—4,5 | 1,75—2,25Ni | 0,8 | 0,8 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| АЛ2 | — | 10,0—13,0 | — | — | — | 1,1 | 1,4 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| АЛ3 | 0,2—0,8 | 4,0—6,0 | 0,2—0,8 | 1,5—3,5 | — | 1,0 | 1,0 | 1,5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| АЛ3В | 0,2—0,8 | 4,0—6,0 | 0,2—0,8 | 1,5—3,5 | — | 1,1 | 1,3 | 1,5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| АЛ4 | 0,17—0,30 | 8,0—10,5 | 0,25—0,5 | — | — | 0,6 | 0,9 | 4,2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| АЛ4В | 0,2—0,4 | 8,0—11,0 | 0,2—0,5 | — | — | 0,9 | 1,2 | 1,5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| АЛ5 | 0,35—0,6 | 4,5—5,5 | — | 1,0—1,5 | — | 0,6 | 1,0 | 1,5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| АЛ6 | — | 4,5—6,0 | — | 2,0—3,0 | — | 1,1 | 1,4 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| АЛ7 | — | — | — | 4,0—5,0 | — | 1,0 | 1,0 | 0,03 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| АЛ7В | — | — | — | 3,0—5,0 | — | 1,1 | 1,3 | 0,3 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| АЛ8 | 9,5—11,5 | — | — | — | — | 0,3 | 0,3 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| АЛ9 | 0,2—0,4 | 6,0—8,0 | — | — | — | 0,6 | 1,0 | 1,5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| АЛ9В | 0,2—0,5 | 6,0—8,0 | — | — | — | 1,1 | 1,2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| АЛ10В | 0,2—0,5 | 4,0—6,0 | — | 5,0—8,0 | — | 1,2 | 1,5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| АЛ11 | 0,1—0,3 | 6,0—8,0 | — | — | 10—14,0Zn | 0,8 | 1,2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| АЛ12 | — | — | — | — | — | 1,0 | 1,2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| АЛ13 | 4,5—5,5 | 0,8—1,3 | 0,1—0,4 | 9,0—11,0 | — | 0,5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| АЛ14В | 0,2—0,6 | 6,0—8,0 | 0,2—0,6 | 1,5—3,0 | — | 1,1 | 1,5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| АЛ15В | — | 3,0—5,0 | 0,2—0,6 | 3,5—5,0 | — | 1,2 | 1,3 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| АЛ16В | — | 3,0—5,0 | 0,2—0,5 | 2,0—4,0 | 2,0—4,0 Zn | 0,3 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| АЛ17В | — | 3,0—5,0 | 0,2—0,6 | 1,5—3,5 | 4,0—7,0 Zn | 1,1 | 1,2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| АЛ18В | — | 1,5—2,5 | 0,3—0,8 | 7,5—9,5 | 1,0—1,8 Fe | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

В обозначениях марок буква В указывает, что отливки изготавливаются из литейных алюминиевых сплавов в чушках по ГОСТ 1583-53. В графах содержания примеси железа буквы указывают способ литья: З — в земло, К — в кокиль, Д — под давлением.

Таблица 70

Механические свойства алюминиевых сплавов (по ГОСТ 2685-53)

| Марка сплава | Способы литья | Вид термической обработки | Механические свойства | | | Марка сплава | Способы литья | Вид термической обработки | Механические свойства | | | | | | | | |
|--------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|--------------|-------|--------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------------------|--------------|-------|-------|------------------|--------------------|----|-----|----|
| | | | $\sigma_{вр}$ кг/мм ² | δ в % | H_B | | | | $\sigma_{вр}$ кг/мм ² | δ в % | H_B | | | | | | |
| АЛ1 | З; К | T5 | 20 | 0,5 | 95 | АЛ8 | З | T4 | 28 | 9 | 60 | | | | | | |
| АЛ2 | ЗМ; КМ К | — | 15 | 4 | 50 | АЛ9 | З; К З К З К | — T4 T4 T5 T5 | 16 | 2 | 50 | | | | | | |
| | | | 16 | 2 | 50 | | | | 18 | 4 | 50 | | | | | | |
| АЛ3 | К З З; К З З К З; К З; К | — T1 T2 T5 T5 T7 T8 | 16 | 0,5 | 65 | АЛ9В | З К З К | — — T5 T5 | 12 | 0,5 | 60 | | | | | | |
| | | | 12 | — | 65 | | | | 16 | 0,5 | 65 | | | | | | |
| | | | 17 | 1 | 70 | | | | 16 | 0,5 | 70 | | | | | | |
| | | | 12 | — | 65 | | | | 20 | 0,5 | 65 | | | | | | |
| | | | 21 | — | 75 | | | | 22 | 0,5 | 75 | | | | | | |
| | | | 24 | 0,5 | 75 | | | | 22 | 0,5 | 75 | | | | | | |
| 20 | 1 | 70 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 2 | 65 | | | | | | | | | | | | | | | |
| АЛ3В | З К З К З К | — — T5 T5 T8 T8 | 12 | — | 65 | АЛ10В | З К З К К | — — T6 T6 T1 | 12 | — | 80 | | | | | | |
| | | | 16 | 0,5 | 65 | | | | 16 | — | 80 | | | | | | |
| | | | 21 | — | 75 | | | | 13 | — | 80 | | | | | | |
| | | | 24 | 0,5 | 75 | | | | 20 | — | 100 | | | | | | |
| | | | 15 | 1 | 65 | | | | 17 | — | 90 | | | | | | |
| 18 | 2 | 65 | | | | | | | | | | | | | | | |
| АЛ3В * | З К | — — | 13 | 0,5 | 65 | АЛ11 | З К | — — | 20 | 2 | 80 | | | | | | |
| | | | 16 | 1,0 | 65 | | | | 25 | 1,5 | 90 | | | | | | |
| АЛ4 | З; К К ЗМ К | — T1 T6 T6 | 15 | 2 | 50 | АЛ12 | З; К | T6 | 17 | — | 100 | | | | | | |
| | | | 20 | 1,5 | 70 | | | | АЛ13 | З; К | — | 15 | 1 | 55 | | | |
| | | | 23 | 3 | 70 | | | | | | | АЛ14В | З К З К | — — T5 T5 | 13 | 0,5 | 70 |
| | | | 24 | 3 | 70 | | | | | | | | | | 17 | 0,5 | 70 |
| | | | 20 | 0,5 | 85 | | | | | | | | | | | | |
| | | | 24 | 0,5 | 85 | | | | | | | | | | | | |
| АЛ4В | З; К З К | — T6 T6 | 16 | 0,3 | 70 | АЛ15В | З К З К | — — T5 T5 | 15 | — | 70 | | | | | | |
| | | | 24 | 0,4 | 80 | | | | 18 | 0,5 | 70 | | | | | | |
| | | | 25 | 0,4 | 90 | | | | 20 | — | 80 | | | | | | |
| АЛ5 | З; К З З; К | T1 T5 T7 | 16 | — | 65 | АЛ16В | З К З К | — — T5 T5 | 16 | — | 65 | | | | | | |
| | | | 20 | — | 70 | | | | 17 | 0,5 | 65 | | | | | | |
| | | | 18 | 1 | 65 | | | | 22 | 0,5 | 70 | | | | | | |
| АЛ6 | З; К | T2 | 15 | 1 | 45 | АЛ17В | З К З К | — — T5 T5 | 17 | — | 65 | | | | | | |
| | | | | | | | | | 18 | 0,5 | 65 | | | | | | |
| | | | | | | | | | 20 | — | 75 | | | | | | |
| АЛ7 | З К З К | T4 T4 T5 T5 | 20 | 6 | 60 | АЛ18В | К | — | 18 | — | 80 | | | | | | |
| | | | 21 | 6 | 60 | | | | | | | | | | | | |
| | | | 22 | 3 | 70 | | | | | | | | | | | | |
| | | | 23 | 3 | 70 | | | | | | | | | | | | |
| АЛ7В | З К З К | — — T5 T5 | 13 | 0,5 | 55 | | | | | | | | | | | | |
| | | | 16 | 1 | 55 | | | | | | | | | | | | |
| | | | 22 | 1 | 70 | | | | | | | | | | | | |
| | | | 25 | 2 | 70 | | | | | | | | | | | | |

Примечания: 1. Буква М обозначает, что данный способ литья применяется с модифицированием.

2. Условные обозначения видов термической обработки: T1 — старение; T2 — отжиг; T4 — закалка; T5 — закалка и частичное старение; T6 — закалка и полное старение до максимальной твердости; T7 — закалка и стабилизирующий отпуск; T8 — закалка и смягчающий отпуск.

3. Для сплава марки АЛ3В, отмеченного звездочкой, механические свойства относятся к сплаву с содержанием магния 0,25—0,5%, а марганца — 0,2—0,6%.

Таблица 71

Физические свойства литейных сплавов

| Марка сплава | Удельный вес в $Г/см^3$ | Коэффициент линейного расширения $\alpha_{20-100} \cdot 10^6$ | Коэффициент теплопроводности λ в $кал/см \cdot сек \cdot ^\circ C$ | Электропроводность в процентах от электропроводности меди | Марка сплава | Удельный вес в $Г/см^3$ | Коэффициент линейного расширения $\alpha_{20-100} \cdot 10^6$ | Коэффициент теплопроводности λ в $кал/см \cdot сек \cdot ^\circ C$ | Электропроводность в процентах от электропроводности меди |
|--------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| | | | | | | | | | |
| АЛ2 | 2,65 | 20 | 0,42 | 35 | АЛ12 | 2,85—2,95 | 22 | 0,30 | 30—35 |
| АЛ6 | 2,75 | 21,5 | 0,34 | 37 | АЛ1 | 2,75 | 22,3 | 0,35 | 37 |
| АЛ9 | 2,66 | 21,5 | 0,36 | 39 | АЛ8 | 2,55 | 24,5 | 0,20 | 21 |
| АЛ4 | 2,65 | 20 | 0,30 | — | АЛ13 | 2,60 | 23,9 | 0,30 | 29 |
| АЛ3 | 2,68 | 21 | 0,29 | 31 | АЛ11 | 2,95 | 24,5 | — | — |
| АЛ5 | 2,67 | 21 | 0,36 | 36—43 * | АС1 | 2,95 | — | 0,33 | 35 |
| АЛ7 | 2,78 | 22,7 | 0,30 | 35 | | | | | |

* Нижний предел — для закаленного и состаренного, верхний — для закаленного и состаренного при повышенной температуре.

Таблица 72

Технологические данные о литейных алюминиевых сплавах

| Марка сплава | Способ литья | | | Состояние сплава | | | Технологические данные | | | | | |
|--------------|--------------|----------|---------------|------------------|------------|--------------------------|------------------------|-----------------------------------|---------------|---------------|------------------------|---------------------------|
| | В землю | В кокиль | Под давлением | Литой | Закаленный | Закаленный и состаренный | Жилкотекучесть | Стойкость против усадочных трещин | Герметичность | Жаропрочность | Коррозионная стойкость | Обрабатываемость резанием |
| АЛ2 | + | + | + | + | — | — | 5 | 5 | 5 | 3 | 4 | 1 |
| АЛ6 | + | + | + | + | — | — | 5 | 5 | 4 | 3 | 3 | 2 |
| АЛ4 | + | + | — | + | — | — | 5 | 5 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| АЛ9 | + | + | — | + | + | + | 5 | 5 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| АЛ3 | + | + | + | + | — | + | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 | 3 |
| АЛ5 | + | + | — | + | — | + | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 | 3 |
| АЛ7 | + | + | — | + | + | + | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 4 |
| АЛ12 | + | + | + | + | — | — | 4 | 4 | 4 | 3 | 1 | 4 |
| АЛ12* | + | + | — | + | — | — | 4 | 4 | 4 | 4 | 1 | 4 |
| АЛ1 | + | + | — | + | + | + | 3 | 3 | 3 | 5 | 2 | 4 |
| АЛ8 | + | + | + | + | — | — | 3 | 4 | 3 | 1 | 5 | 5 |
| АЛ13 | + | + | — | + | — | — | 2 | 4 | 4 | 3 | 4 | 5 |
| АС1 | + | + | — | + | — | — | 4 | 2 | 4 | 1 | 1 | 4 |
| АЛ11 | + | + | — | + | — | — | 5 | 5 | 4 | 2 | 3 | 4 |

Принятые обозначения: + применяется; — не применяется; 5 — хорошо; 4 — выше среднего; 3 — удовлетворительно; 2 — ниже среднего; 1 — плохо.

* Высоколегированный.

и 1—2% Ni известны как жаропрочные композиции. Типичный представитель — сплав АЛ12.

К четверной системе Al — Cu — Mg — Ni принадлежит жаропрочный сплав АЛ1 (сплав У), который термически упрочняется, хорошо обрабатывается резанием и имеет пониженные литейные свойства.

Из двойных сплавов Al — Mg распространены составы с 10—12% Mg, обла-

дающие высокими механическими свойствами. Для борьбы с внутрикристаллической ликвацией рекомендуется гомогенизация, обеспечивающая высокий предел прочности и повышенную пластичность. Литейные свойства этих сплавов низкие. Для борьбы с окислением рекомендуются добавка небольших количеств бериллия, плавка под слоем флюса и введение в формовочную землю в качестве защитной добавки борной

кислоты. Примеси Fe, Si и Cu снижают коррозионную стойкость сплава. Обрабатываемость резанием — отличная, сплавы хорошо полируются. Типичный представитель — сплав АЛ8, применяемый для отливки ответственных деталей и узлов, подверженных ударным нагрузкам и коррозионным воздействиям. Второй представитель — сплав АЛ13 — применяется, когда требуется высокое сопротивление коррозии. Для улучшения литейных свойств практикуется добавка 0,8—1,3% Si. Сплавы системы Al — Zn стлчаются высокими механическими свойствами в сыром состоянии. Старейший представитель этой группы, применявшийся до 1935 г., — сплав АС1 (Al — Zn — Cu), самозакаливающийся, с хорошей жидкотекучестью, но склонный к трещинообразованию.

Наиболее интересным является современный сплав АЛ11, разработанный под руководством А. А. Бочвара. Это — цинковистый силумин (10—15% Zn и 8—6% Si) с добавками Cu (до 0,5%), Mg (до 0,2%) и Mn (до 0,5%), самозакаливающийся сплав с высокими значениями твердости и предела прочности. Наличие эвтектики Al — Si обуславливает высокие литейные свойства. Сплав модифицируется подобно АЛ2, АЛ4 и АЛ9. Рекомендуется кристаллизация под давлением. Сплав не изменяет механических свойств после повторных нагревов.

Деформируемые алюминиевые сплавы

При выборе состава деформируемого сплава решающим фактором является его способность к пластической деформации.

Гранцентрированная кубическая решетка алюминия обеспечивает 12 систем скольжения (4 плоскости и 3 направления в каждой). При повышении температуры деформации в скольжении принимают участие новые плоскости и направления (плоскость [100] и направление [101]), значительно увеличивающие способность металла к пластической деформации.

Подавляющее большинство деформируемых сплавов на основе алюминия принадлежит к сплавам с ограниченной областью твердого раствора.

Все деформируемые алюминиевые сплавы делятся на два класса: I класс — сплавы, термически не упрочняемые, и II класс — термически упрочняемые сплавы. Наибольшим распространением пользуются сплавы II класса.

Основные виды полуфабрикатов, обрабатываемых давлением: 1) листы и ленты, 2) прессованные профили и прутки, 3) трубы, 4) проволока и заклепки, 5) поковки и штампованные фасонные детали.

В табл. 73 приведены химические составы деформируемых сплавов, в табл. 74 — основные физические свойства и в табл. 75 — изготавливаемые из них полуфабрикаты.

В табл. 76 даны минимальные (гарантируемые) и типичные механические свойства сплавов I класса, не упрочняемых термической обработкой. Эти сплавы (АМц, АМг, АМг3 и АМг5) применяются в тех случаях, когда от изделий требуются высокая пластичность, хорошая свариваемость и высокое сопротивление коррозии. Присадочным материалом при сварке является либо основной материал, либо проволока из сплава АК, содержащего 5% Si.

Все сплавы I класса обладают сравнительно невысокой прочностью, которая повышается в следующей последовательности, начиная с алюминия технической чистоты: А, АМц, АМг, АМг3 и АМг5.

Повышение предела текучести, предела прочности и твердости достигается холодной нагартовкой (наклепом) при одновременном снижении пластических свойств.

Сплав АМг отличается высоким пределом усталости при вибрационных нагрузках.

Мягкое состояние достигается отжигом при температурах 350—410° С. Сплавы АМг, АМг3 и АМг5 как однородные, твердые растворы склонны к образованию крупного зерна при термообработке; для устранения этого в состав их вводятся Mn или Cr, а также значительные добавки ванадия или титана и не рекомендуются высокие температуры отжига.

Fe и Si являются вредными примесями, понижающими сопротивление коррозии. Примесь Fe может также резко снизить пластичность сплава АМц за счет образования хрупкой, пластичной фазы (FeMn)Al₆.

Для борьбы с трещинообразованием в сплав АМг3 рекомендуется присадка 0,6—1,0% Si.

Способность к деформированию у сплавов АМц и АМг высокая, у сплавов же АМг3 и АМг5 она понижается с увеличением содержания магния.

Деформируемые алюминиевые

| Марка сплава | Химический | | | | | | | | | |
|--------------|---------------------|----------|--------------------------------------------------|---------|---------|---------|-----------------------|-----------|--------|---------|
| | Основные компоненты | | | | | | | При | | |
| | Медь | Магний | Марганец | Никель | Железо | Кремний | Цинк | Алюминий | железа | кремния |
| АД | — | — | — | — | — | — | — | 98,8 | 0,5 | 0,55 |
| АД1 | — | — | — | — | — | — | — | 99,8 | 0,3 | 0,35 |
| АМц | — | — | 1,0—1,6 | — | — | — | — | Остальное | 0,7 | 0,6 |
| АМг | — | 2,0—2,8 | 0,15—0,4* | — | — | — | — | То же | 0,4 | 0,4 |
| АМг5п | — | 4,7—5,7 | 0,2—0,6 | — | — | — | — | " | 0,4 | 0,4 |
| Д1 | 3,8—4,8 | 0,4—0,8 | 0,4—0,8 | — | — | — | — | " | 0,7 | 0,7 |
| Д6 | 4,6—5,2 | 0,65—1,0 | 0,5—1,0 | — | — | — | — | " | 0,5 | 0,5 |
| Д7 | 3,0—4,0 | 0,25—0,5 | 0,25—0,5 | — | — | — | — | " | 0,8 | 0,8 |
| Д16 | 3,8—4,9 | 1,2—1,8 | 0,3—0,9 | — | — | — | — | " | 0,5 | 0,5 |
| Д1П | 3,8—4,5 | 0,4—0,8 | 0,4—0,8 | — | — | — | — | " | 0,5 | 0,5 |
| Д3П | 2,6—3,5 | 0,3—0,7 | 0,3—0,7 | — | — | — | — | " | 0,5 | 0,5 |
| Д16П | 3,8—4,5 | 1,2—1,6 | 0,3—0,7 | — | — | — | — | " | 0,5 | 0,5 |
| Д18П | 2,2—3,0 | 0,2—0,5 | — | — | — | — | — | " | 0,5 | 0,5 |
| АВ | 0,2—0,6 | 0,45—0,9 | 0,15—0,35 или хрома в том же количестве | — | — | 0,5—1,2 | — | " | 0,5 | — |
| АК | — | — | — | — | — | 4,5—6,0 | — | " | 0,6 | — |
| АК2 | 3,5—4,5 | 0,4—0,8 | — | 1,8—2,3 | 0,5—1,0 | 0,5—1,0 | — | " | — | — |
| АК4 | 1,9—2,5 | 1,4—1,8 | — | 1,0—1,5 | 1,1—1,6 | 0,5—1,2 | — | " | — | — |
| АК4-1 | 1,9—2,5 | 1,4—1,8 | — | 1,0—1,5 | 1,0—1,5 | — | Титан 0,02— 0,1 | " | — | 0,35 |
| АК6 | 1,8—2,6 | 0,4—0,8 | 0,4—0,8 | — | — | 0,7—1,2 | — | " | 0,7 | — |
| АК8 | 3,9—4,8 | 0,4—0,8 | 0,4—1,0 | — | — | 0,6—1,2 | — | " | 0,7 | — |
| АЛД | — | 0,5—0,9 | — | — | 0,2—0,5 | 0,8—1,0 | — | " | — | — |
| Д12 | — | 0,8—1,3 | 0,9—1,4 | — | — | — | — | " | 0,7 | 0,7 |

Примечания: 1. Сплав марки АМц в случае применения для заклепочной проволоки не
2. Сплав марки АМг в случае применения для сварочной проволоки может содержать железа и
3. Сплав марки АВ по требованию потребителя может поставляться с содержанием меди и цинка

* Или хрома в том же количестве.

Таблица 73

сплавы (по ГОСТ 4784-49)

| состав в % | | | | | | | | | Примерное назначение |
|-----------------------------|------|----------|--------|--------------------------|----------------------------|--------|----------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| месей не более: | | | | | | | | | |
| суммы желе- за и кремния | меди | марганца | никеля | цинка | суммы желе- за и никеля | магния | прочих при- месей | суммы при- месей | |
| 1,0 | 0,1 | 0,1 | — | 0,1 | — | 0,1 | 0,1 | 1,2 | Трубы, прутки |
| 0,6 | 0,05 | — | — | — | — | — | 0,1 | 0,7 | То же |
| — | 0,2 | — | — | 0,1 | — | 0,05 | 0,1 | 1,75 | Трубы, прутки, листы, про- фили, проволока, поковки, штамповки |
| 0,6 | 0,1 | — | — | — | — | — | 0,1 | 0,8 | То же |
| 0,6 | 0,2 | — | — | — | — | — | 0,1 | 1,1 | Листы профили, проволока |
| — | — | — | 0,1 | 0,3 | 0,7 | — | 0,1 | 1,8 | Листы плакированные, тру- бы, прутки, профили, про- волока, поковки |
| — | — | — | 0,1 | 0,3 | — | — | 0,1 | 1,5 | Трубы, прутки, листы, про- фили |
| — | — | — | 0,1 | 0,3 | 0,8 | — | 0,1 | 2,0 | Листы плакированные, тру- бы, прутки, профили, про- волока |
| — | — | — | 0,1 | 0,3 | 0,5 | — | 0,1 | 1,5 | Проволока и заклепки |
| — | — | — | — | 0,1 | — | — | 0,1 | 1,2 | То же |
| — | — | — | — | — | — | — | 0,1 | 1,1 | Трубы, прутки, листы, про- фили, проволока, поковки и штамповки |
| — | — | 0,2 | — | 0,1 | — | — | 0,1 | 1,2 | Проволока для сварки |
| — | — | — | — | 0,1 | — | — | 0,1 | 1,4 | Прутки, поковки и штамп- повки |
| — | — | — | — | 0,2 | — | — | 0,1 | 0,8 | То же |
| — | 0,2 | — | — | 0,1 (цинк и олово) | — | — | — | 0,9 | " |
| — | — | 0,2 | — | 0,3 | — | — | 0,1 | 0,6 | " |
| — | — | 0,2 | — | 0,3 | — | — | 0,1 | 0,6 | " |
| — | — | 0,2 | — | 0,3 | — | — | 0,1 | 0,95 | " |
| — | — | — | 0,1 | 0,3 | 0,7 | — | 0,1 | 1,1 | Прутки, листы, профили |
| — | — | — | 0,1 | 0,3 | — | — | 0,1 | 1,2 | То же |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | " |
| — | 0,1 | — | — | — | — | — | 0,1 | 1,6 | " |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | " |

должен содержать цинка.

кремния не более 0,05% каждого.

не более 0,1% каждого или же с содержанием меди от 0 до 0,5% и марганца (или хрома) от 0 до 0,2%.

Физические свойства деформируемых алюминиевых сплавов

| Марка сплава | Удельный вес в $Г/см^3$ | Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ в интервале температур в $^{\circ}C$ | | | Коэффициент теплопроводности в $кал/см \cdot сек \cdot ^{\circ}C$ при состоянии материала | | | Электропроводность в процентах от электропроводности меди при состоянии металла | | |
|--------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------|
| | | 20—100 | 20—200 | 20—300 | нагретованном и полунагретованном | закаленным и состаренном | отожженным | нагретованном и полунагретованном | закаленным и состаренном | отожженным |
| А | 2,71 | 24 | 24,8 | 25,9 | 0,52 | — | 0,54 | 57 | — | 50 |
| АМц | 2,73 | 24 | 24,8 | 25,9 | 0,38 | — | 0,45 | 41 | — | 50 |
| АМг | 2,67 | 23,4 | 24,5 | 25,4 | 0,3 | — | 0,30 | 40 | — | 40 |
| АМг5 | 2,65 | 23,9 | 24,8 | 25,9 | 0,2 | — | 0,28 | 27 | — | 29 |
| АВ-АК5 | 2,69 | 23,4 | 24,5 | 25,4 | — | 0,41 | 0,50 | — | 45 | 55 |
| АК6 | 2,75 | 22,7 | 24,0 | 25,1 | — | 0,38 | 0,45 | — | 40 | 50 |
| Д18 | 2,75 | 22 | 23,4 | 24,8 | — | — | — | — | — | — |
| ДЗП | 2,78 | 22 | 23,4 | 24,8 | — | — | — | — | — | — |
| Д1 | 2,80 | 22 | 23,4 | 24,8 | — | — | — | — | — | — |
| Д6 | 2,80 | 22 | 23,4 | 24,8 | — | 0,28 | 0,41 | — | 30 | 45 |
| Д16 | 2,80 | 22 | 23,4 | 24,8 | — | — | — | — | — | — |
| АК8 | 2,80 | 22 | 23,4 | 24,8 | — | 0,28 | 0,41 | — | 30 | 50 |
| АК2 | 2,80 | 22 | 23,4 | 24,8 | — | 0,37 | 0,45 | — | 40 | 50 |
| АК4 | 2,80 | 22 | 23,4 | 24,8 | — | 0,37 | 0,45 | — | — | — |
| АК4 | 2,80 | 22 | 23,1 | 24,0 | — | — | 0,43 | — | — | — |
| Силумин АК9 | 2,69 | 19,5 | 20,5 | 21,4 | — | 0,32 | 0,37 | — | 35 | 40 |

Таблица 75

Полуфабрикаты, изготавливаемые из деформируемых алюминиевых сплавов

| Марка сплава | Листы и ленты | Гнутые профили | Прессованные профили | Прутки | Трубы | Проволока и заклепки | Поковки и штамповки |
|---------------|---------------|----------------|----------------------|--------|-------|----------------------|---------------------|
| А | + | + | + | + | + | + | + |
| АМц | + | + | + | + | + | + | + |
| АМг | + | + | + | + | + | + | + |
| АМг3 | + | + | + | + | + | + | + |
| АМг5 | + | + | + | + | + | + | + |
| АВ-АК5 | + | + | + | + | + | + | + |
| АК6 | + | + | + | + | + | + | + |
| Д18 | — | — | — | — | — | — | — |
| ДЗП | — | — | — | — | — | — | — |
| Д1 | + | + | + | + | + | + | + |
| Д6 | + | + | + | + | + | + | + |
| Д16 | + | + | + | + | + | + | + |
| АК8 | + | + | + | + | + | + | + |
| В95 | + | + | + | + | + | + | + |
| АК2 | — | — | — | — | — | — | — |
| АК4 | — | — | — | — | — | — | — |
| Силумин (АК9) | — | — | — | — | — | + | — |
| АК | — | — | — | — | — | + | — |

Принятые обозначения: + изготавливаются; — не изготавливаются.

Таблица 76

Механические свойства полуфабрикатов из деформируемых алюминиевых сплавов, не упрочняемых термообработкой

| Марка сплава | Вид полуфабрикатов | Состояние сплава | Минимальные (гарантируемые) | | Типичные | | | | | | | |
|--------------|---------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------|--------------|------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|--------------|-------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
| | | | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | δ в % | $\sigma_{яв}$ в кг/мм ² | σ_T в кг/мм ² | σ_{-1} в кг/мм ² | δ в % | ψ в % | E в кг/мм ² | G в кг/мм ² | H_B в кг/мм ² |
| АМц | Листы | Полунагартованный П | 14,5—20 | 18 | 16 | 13 | 6,5 | 10 | 55 | 7200 | 2700 | 40 |
| | Трубы | Отожженный М | 11—14,5 | 20—18 | 13 | 5 | 5,5 | 20 | 70 | 7200 | 2700 | 35 |
| | Прутки | Нагартованный Н Отожженный М Прессованный | < 11 11 | 20 18 | — — | — — | — — | — — | — — | — — | — — | — — |
| АМг | Листы | Полунагартованный П | 24 | 4 | 25 | 20 | 13,5 | 6 | — | 7200 | 2700 | 60 |
| | Трубы | Отожженный М | 23 | 16 | 20 | 8 | 12,5 | 23 | — | 7200 | 2700 | 45 |
| | | Нагартованный Н | 23 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | Прутки | Полунагартованный П Отожженный М То же | 21 22 23 | — — 10 | — — — | — — — | — — — | — — — | — — — | — — — | — — — | — — — |
| АМг5 | Листы Проволока для заклепок | То же Нагартованный Н | 25 (τ_B)16 | 16 | 27 | 12 | — | 18 | — | 7200 | 2700 | 70 |

Таблица 77

Типичные механические свойства термически упрочняемых деформируемых алюминиевых сплавов

| Марка сплава | Маркировка состояния сплава | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | σ_T в кг/мм ² | σ_{-1} в кг/мм ² | δ в % | ψ в % | H_B в кг/мм ² |
|----------------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|--------------|------------|----------------------------|
| АВ или АК5 | ТТ | 33 | 28 | 7,5 | 12 | 20 | 95 |
| | Т | 22 | 12 | 7,5 | 22 | 50 | 65 |
| | М | 13 | — | 4,5 | 24 | 65 | 30 |
| АК6 | ТТ | 42 | 30 | — | 17 | — | 105 |
| Д18 | Т | 30 | 17 | 9,5 | 24 | 50 | 70 |
| | М | 16 | 6 | — | 24 | — | 38 |
| Д3П | Т | 34 | 21 | 10 | 20 | 40 | 80 |
| | М | 17 | 8 | — | 20 | — | — |
| Д1 Д1 | Плакированные | | | | | | |
| | Т | 38 | 22 | — | 18 | — | 100 |
| | М | 18 | 11 | — | 18 | — | 45 |
| | Т | 42 | 24 | 10,5 | 18 | 35 | 100 |
| Д6 Д6 и Д16 | Плакированные | | | | | | |
| | Т | 43 | 30 | — | 18 | — | 105 |
| | М | 20 | 11 | — | 16 | — | 50 |
| | Т | 47 | 33 | 11,5 | 17 | 30 | 105 |
| М | 22 | 11 | — | 15 | 50 | 50 | |
| АК8 | ТТ | 49 | 38 | 11,5 | 13 | 25 | 140 |

Продолжение табл. 77

| Марка сплава | Маркировка состояния сплава | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | σ_T в кг/мм ² | σ_{-1} в кг/мм ² | δ в % | ψ в % | $\frac{H_B}{\sigma_{вр}}$ в кг/мм ² |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------|------------|---------------------------------------------------|
| АК2 | ТТ | 42 | 28 | — | 13 | — | 100 |
| АК4 | ТТ | 44 | 29 | — | 10 | — | 110 |
| АК9 (спец. силумин) | ТТ | 39 | 28 | 10 | 10 | — | 115 |

Принятые обозначения: М — отожженное; Т — закаленное и естественно состаренное; ТТ — закаленное и искусственно состаренное.

Таблица 78

Минимальные (гарантируемые) механические свойства полуфабрикатов из деформируемых термически упрочняемых алюминиевых сплавов

| Марка сплава | Вид и размеры полуфабриката в мм | Маркировка состояния сплава | Механические свойства | | | |
|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------|
| | | | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | σ_T в кг/мм ² | δ в % | $\frac{H_B}{\sigma_{вр}}$ в кг/мм ² |
| АВ | Листы 0,3—5,0 | ТТ | 30 | 22 | 10 | 85 |
| | | Т | 20 | — | 18 | — |
| | Трубы по ГОСТ 4773-49 | М | < 15,5 | — | 20 | — |
| | | ТТ | 31 | — | 8 | — |
| | | Т | 21 | — | 14 | — |
| | | М | > 15 | — | 17 | — |
| Профили | ТТ | 30 | 22 | 10 | — | |
| | Т | 18 | — | 14 | — | |
| Прутки по ГОСТ 4783-49 | ТТ | 30 | — | 12 | — | |
| | ТТ | 28 | — | 10 | — | |
| АК5 | Штамповки Поковки | ТТ | 30 | 22 | 12 | — |
| | | ТТ | 28 | — | 10 | — |
| АК6 | Прутки по ГОСТ 4783-49 Штамповки | Т | 36 | — | 12 | — |
| | | ТТ | 38 | 28 | 10 | 100 |
| Д18 | Проволока для заклепок | Т | $\tau_{ср} \geq 19$ | — | — | — |
| ДЗП | Проволока для заклепок | Т | $\tau_{в ср} \geq 21$ | — | — | — |
| Д1 | Листы лакированные 0,3—2,5 | Г | 37 | 19 | 15 | — |
| | | Т | 38 | 20 | 15 | — |
| | Листы лакированные 2,6—10 по ГОСТ 4977-52 То же | М | 23—24 | — | 12 | — |
| | | Т | 35—33 | 19,5 | 10—8 | — |
| | Плиты горячей прокатки 6,1—50 | Т | 38 | — | 12 | — |
| | | Т | 38 | — | 12 | — |
| Профили прессованные Трубы диаметром до 22 по ГОСТ 4773-49 | Т | ≥ 38 | 20 | 13—14 | — | |

Продолжение табл. 78

| Марка сплава | Вид и размеры полуфабриката в мм | Маркировка состояния сплава | Механические свойства | | | |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--------------|-------------------------------|
| | | | $\sigma_{вР}$ в кг/мм ² | σ_T в кг/мм ² | δ в % | H_B в кг/мм ² |
| Д1 | Трубы диаметром 22—50 по ГОСТ 4773-49 | Т | 40 | 23 | 13—14 | — |
| | Трубы диаметром > 50 по ГОСТ 4773-49 | Т | 40 | 23 | 11 | — |
| | Трубы всех размеров | М | 25 | — | 10 | — |
| | Трубы толстостенные диаметром до 120 | Т | 36 | — | 12 | — |
| | Трубы толстостенные диаметром > 120 | Т | 38 | — | 10 | — |
| | Прутки диаметром до 160 по ГОСТ 4783-49 | Т | 38 | 22 | 12 | — |
| | Прутки диаметром > 160 по ГОСТ 4783-49 | Т | 36 | 20 | 10 | — |
| | Штамповки | Т | 38 | — | 12 | 95 |
| | Поковки | Т | 36 | — | 10 | 95 |
| | Лопасты | Т | 36 | — | 13 | 95 |
| Проволока для заклепок | Т | $\tau_{\theta} \geq 24$ | — | — | — | |
| Д6 и Д16 | Листы лакированные по ГОСТ 4977-52 | | | | | |
| | толщиной в мм 0,3—2,5* | Т | 41,5 | 27,5 | 13 | — |
| | то же 2,6—6,0* | Т | 43,5 | 28,0 | 11 | — |
| | " 6,1—10 | Т | 43,5 | 28 | 10 | — |
| | " 0,3—2,5 | ТН | 43,5 | 34 | 10 | — |
| | " 2,6—6,5 | ТН | 46,5 | 35 | 8 | — |
| | " 0,3—2,5 | М | 23,0 | — | 10 | — |
| | " 2,6—10 | М | 24,0 | — | 10 | — |
| | Плиты толщиной 6,1—50 мм | Т | 43,5 | 28 | 8—6 | — |
| | Листы и плиты толщиной 0,3—50 мм, не лакированные | М | 24,5 | — | 12—11 | — |
| | Т | 45—43,5 | 29,5—28 | 14—5 | — | |
| Д6 и Д16 | Профили прессованные поперечного сечения до 2000 мм ² : | | | | | |
| | толщина до 10 мм | Т | 40 | 29 | 12 | — |
| | то же 10,1—20 мм | Т | 42 | 31 | 12 | — |
| | " поперечного сечения > 2000 мм ² : | | | | | |
| | толщиной 10,1—20 мм | Т | 42 | 31 | 12 | — |
| | то же, 20,1—40 мм | Т | 45 | 32 | 10 | — |
| | > 40 мм | Т | 49 | 33 | 10 | — |
| | Прутки прессованные | М | 25 | — | 12 | — |
| | Прутки прессованные диаметром до 22 мм ГОСТ 4783-49 | Т | 40 | 26 | 12 | — |
| | Прутки прессованные диаметром 23—160 мм по ГОСТ 4783-49 | Т | 43 | 28 | 10 | — |
| Прутки прессованные диаметром > 160 мм по ГОСТ 4783-49 | Т | 42 | 26 | 8 | — | |
| Трубы холодотянутые, диаметром до 22 мм по ГОСТ 4977-52 | Т | ≥ 42 | 26 | 13—14 | — | |
| Трубы холодотянутые, диаметром 23—50 мм по ГОСТ 4977-52 | Т | ≥ 43 | 29 | 12 | — | |

* Листы толщиной до 2,5 мм включительно имеют толщину лакировки 4%, толщиной 2,6 мм и выше — толщину лакировки 2%.

| Марка сплава | Вид и размеры полуфабриката в мм | Маркировка состояния сплава | Механические свойства | | | |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--------------|-------------------------------|
| | | | σ_{BD} в кг/мм ² | σ_T в кг/мм ² | δ в % | H_B в кг/мм ² |
| Д6 и Д16 | Трубы холоднотянутые диаметром > 50 мм по ГОСТ 4977-52 Трубы всех размеров То же, прессованные толсто-стенные диаметром до 120 мм То же, > 120 мм Проволока для заклепок | T | ≥ 43 | 29 | 10 | — |
| | | M | ≤ 25 | — | 10 | — |
| | | T | 40 | 26 | 12 | — |
| | | T | 43 | 28 | 10 | — |
| | | T | $\tau_{в ср} \geq 27$ | — | — | — |
| AK8 | Прутки диаметром до 22 мм по ГО Т 4783-49 Прутки диаметром 23—150 мм по ГОСТ 4783-49 Прутки диаметром > 160 мм Штамповки Поковки | T | 45 | — | 10 | — |
| | | T | 46 | — | 10 | — |
| | | T | 44 | — | 8 | — |
| | | TT | 46 | 35 | 10 | 130 |
| | | TT | 44 | — | 8 | 130 |
| AK2 | Прутки по ГОСТ 4783-49 Штамповки Поковки | T | 36 | — | 10 | — |
| | | TT | 37 | 24 | 5 | 95 |
| | | TT | 36 | — | 4 | 95 |
| AK4 | Прутки по ГОСТ 4783-49 Штамповки Поковки | T | 36 | — | 8 | — |
| | | TT | 38 | 26 | 5 | 100 |
| | | TT | 36 | — | 4 | 100 |
| AK ⁰ (специальный алюминий) | Штамповки | TT | 36 | 24 | 5 | 100 |

Принятые обозначения: М — состояние отожженное; Т — закаленное и естественно составленное; ТН — закаленное и нагартованное; ТТ — закаленное и искусственно составленное.

В табл. 77 и 78 приведены типичные и минимальные (гарантируемые) механические свойства сплавов класса II, упрочняемых термообработкой.

Алюминий может растворять при температурах плавления, соответствующих эвтектике, 5,65% Си, до 1,85%

Mg-Si, до 16% Mg, до 1,6% Si, до 18% MgZn₂. Во всех этих случаях растворимость падает с понижением температуры, что позволяет применять к этим сплавам упрочняющую термообработку, состоящую из закалки и старения — естественного или искусственного.

Максимальный эффект упрочнения вызывают химические соединения (CuAl_2 , Mg_2Si , MgZn_2 , тройные $\text{Al}-\text{Cu}-\text{Mg}$, четверные $\text{Al}-\text{Cu}-\text{Mg}-\text{Si}$, слабее выражено влияние чистых металлов Mg и Zn и в особенности Si . Фазы-упрочнители были приведены выше в разделе литейных сплавов.

Сплав авиаль под маркой АВ или АК5 принадлежит к тройной системе $\text{Al}-\text{Mg}-\text{Si}$ и лежит вблизи квазибинарного разреза $\text{Al}-\text{Mg}_2\text{Si}$ в области концентраций с избытком кремния. Сплав АВ способен к естественному (при комнатной температуре) и к искусственному (при повышенных температурах) старению после закалки, причем максимальный эффект упрочнения обеспечивает второй вид старения.

Вылеживание сплава при комнатной температуре перед искусственным старением приводит к частичной потере упрочнения. Содержание Mg и Si рекомендуется иметь не ниже 0,8% каждого при концентрации Mg_2Si не ниже 1,2%. Разработанная С. М. Вороновым в 1934 г. композиция сплава АК5 предусматривает введение в сплав 0,2—0,6% Cu и 0,15—0,45% Mn , которые увеличивают эффект упрочнения при закалке и тем самым компенсируют потерю прочности при вылеживании перед искусственным старением.

Сплавы АВ или АК5 применяются дляковки и горячей штамповки сложных фасонных деталей, для листов и труб в тех случаях, когда требуются высокая пластичность и хорошая коррозионная стойкость для электропроводов (вместо чистого алюминия) и т. п.

Сплав АК6 представляет композицию, среднюю по содержанию меди между АК5 и АК8. Применяется для горячей штамповки различных деталей после закалки и искусственного старения. Равнопрочен дуралюмину, но имеет более высокий предел текучести и более пластичен при горячем и холодном деформировании.

Упрочняющие соединения — CuAl_2 , фаза $W(\text{Al}_x\text{Cu}_y\text{Mg}_z\text{Si}_4)$ и Si .

Дуралюмины подразделяются на три подгруппы: 1) дуралюмины повышенной пластичности ДЗП и Д18; 2) нормальный дуралюмин Д1 и Д17; 3) дуралюмины повышенной прочности Д6, Д16 и АК8. Основой дуралюминов является система $\text{Al}-\text{Cu}-\text{Mg}$, причем все промышленные сплавы лежат между сторонами $\text{Al}-\text{Cu}$ и квазибинарным

разрезом $\text{Al}-\text{S}$. В зависимости от соотношения Cu и Mg упрочнителями являются соединения CuAl_2 и фаза $\text{S}(\text{CuMgAl}_2)$.

Добавка марганца является обязательной для измельчения структуры и повышения сопротивления коррозии.

Важную роль в упрочнении, в особенности для значений предела текучести, играют процессы правки закаленных полуфабрикатов, вызывающие дополнительную холодную деформацию 2—4%. В ряде случаев закаленный материал подвергается дополнительному холодному деформированию (нагартовке) с целью повышения пределов прочности и текучести (марка ТН).

Технологичность дуралюминов уменьшается с увеличением легированности сплава. Наиболее пластичными являются сплавы марки ДЗП и Д18, за ними идут сплавы средней пластичности Д1 или Д17 и АК8 и, наконец, наименее пластичными являются марки Д6 и Д16 (в особенности при горячем деформировании литого материала). Сплав Д16 склонен к трещинообразованию при непрерывном литье слитков.

Вредной примесью является Fe , в особенности для сплава Д6. Примесь Si является излишней и скорее нежелательной, в особенности для сплава Д16, но в присутствии железа она играет положительную роль, препятствуя образованию фазы $(\text{FeMn})\text{Al}_6$. В сплаве АК8 кремний является обязательным компонентом, обеспечивающим высокий эффект упрочнения при искусственном старении.

Для повышения сопротивления коррозии листовые полуфабрикаты изготавливаются плакированными чистым алюминием. Толщина плакирующего слоя зависит от толщины готовых листов.

Из нормального дуралюмина изготавливаются все виды полуфабрикатов, из сплавов Д6 и Д16 — также все виды полуфабрикатов, кроме штампованных деталей, из сплавов ДЗП и Д18 — заклепки.

Алюминиевые сплавы для работы при повышенных температурах

К этой группе относятся литейные сплавы АЛ1 и АЛ12 (с 12—14% Cu и добавками Ni и Fe), деформируемые сплавы АК2, АК4 и специальный сплав АК9.

Таблица 79

Механические свойства алюминиевых сплавов при повышенных температурах

| Марка сплава | 25° | | | 150° | | | 205° | | | 260° | | | 315° | | |
|-----------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--------------|---------------------------------------|------------------------------------|--------------|---------------------------------------|------------------------------------|--------------|---------------------------------------|------------------------------------|--------------|---------------------------------------|------------------------------------|--------------|
| | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | σ_T в кг/мм ² | δ в % | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | σ_T в кг/мм ² | δ в % | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | σ_T в кг/мм ² | δ в % | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | σ_T в кг/мм ² | δ в % | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | σ_T в кг/мм ² | δ в % |
| А | 9 | 3,5 | 45 | 5,5 | 2,5 | 65 | 4,0 | 2,0 | 70 | 2,5 | 1,5 | 85 | 2,0 | 1,0 | 90 |
| АМц | 11,5 | 4,0 | 40 | 8,0 | 3,5 | 47 | 5,5 | 3,0 | 50 | 4,0 | 2,5 | 60 | 3,0 | 2,0 | 60 |
| АМг | 20,5 | 10,0 | 30 | 16,0 | 9,5 | 55 | 12,5 | 8,0 | 65 | 8,5 | 5,5 | 100 | 5,5 | 3,0 | 105 |
| АВ-АК5 | 33,0 | 28,0 | 20 | 13,5 | 10,5 | 28 | 5,5 | 4,0 | 58 | 4,0 | 3,0 | 59 | 3,0 | 2,5 | 60 |
| Д1 | 43,5 | 28,0 | 20 | 28,0 | 24,0 | 16 | 18,0 | 15,0 | 25 | 9,0 | 6,5 | 35 | 4,0 | 2,5 | 90 |
| Д16 | 48,0 | 31,5 | 22 | 29,5 | 24,5 | 21 | 19,5 | 16,0 | 25 | 10,0 | 7,0 | 40 | 5,5 | 4,0 | 65 |
| АЛ1 | 28,0 | 24,0 | 0 | 26,0 | 23,0 | 1 | 20,0 | 15,5 | 2 | 10,5 | 6,3 | 10 | 6,3 | 3,5 | 20 |
| АЛ12 | 17,5 | 14,0 | 1 | 17,5 | 12,0 | 1,2 | 15,5 | 10 | 1,5 | 12,0 | 7,5 | 3 | 5,5 | 3,0 | 14 |
| АК2 | 44,5 | 83,0 | 17 | 34,5 | 31,0 | 10 | — | — | — | 8,0 | 5,0 | 32 | — | — | — |
| АК4 | 43,0 | — | — | 36,0 | — | — | — | — | — | 31,0 | — | — | — | — | — |
| АК9 (спец. силу- мин) | 39,5 | 32,0 | 8 | 27,5 | 23,0 | 9 | 11,0 | 7,5 | 34 | 6,0 | 4,5 | 50 | 4,0 | 2,5 | 60 |

Сюда же может быть отнесен и сплав Д16.

Наибольшей жаропрочностью отличаются сплавы АЛ1, АК4 и Д16. Жаропрочность этих сплавов объясняется, повидимому, наличием фаз $S(CuMgAl_2)$, $FeNiAl_3$ или четверной $Al-Cu-Fe-Ni$ (твердый раствор Ni в $[CuFe]Al_3$). Кремний оказывает отрицательное влияние на жаропрочность.

Изменение свойств в зависимости от температуры представлено в табл. 79, в которой для сравнения приведены также другие деформируемые сплавы¹.

СПЛАВЫ МАГНИЯ

Технический магний

Магний—химический элемент II группы периодической системы Менделеева с порядковым номером 12 и атомным весом 24,32.

Физические свойства. Магний — металл серебристо-белого цвета с сильным блеском. Кристаллическая структура — гексагональная, компактная с параметрами решетки $a_0 = 3,22 \text{ \AA}$ и $c_0 = 5,23 \text{ \AA}$.

Наиболее важным из его физических свойств является малый удельный вес

(~ 1,74). Главнейшие физические свойства магния следующие:

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Атомный вес | 24,32 |
| " объем в см ³ | 13,99 |
| Плотность (99,99% Mg) при 20°С " в Г/см ³ | 1,738 |
| То же, при 650°С в твердом состоянии | 1,612 |
| То же, при 650°С в жидком состоянии 700°С | 1,572 |
| Температура плавления (99,99% Mg) в °С | 650 |
| Скрытая теплота плавления в кал | 46,5 |
| Увеличение объема при плавлении в % | 4,2 |
| Температура кипения в °С | 1097 ± 3 |
| Скрытая теплота парообразования в кал | 1315 |
| Удельная теплоемкость при 25°С в кал/Г°С | 0,25 |
| Теплопроводность λ при 20°С в кал/см·сек °С | 0,37 |
| Теплота образования MgO в ккал/Г·мол | 143,9 |
| Коэффициент линейного расширения α_0 —100° | 25,5·10 ⁻⁶ |
| То же, α_0 —200° | 26,2·10 ⁻⁶ |
| " α_0 —300° | 27,0·10 ⁻⁶ |
| Электросопротивление при 18°С ρ в ом·мм ² /м | 0,047 |
| Температурный коэффициент электросопротивления α_p | 3,9·10 ⁻³ |
| Удельная электропроводность при 0°С в м/ом·мм ² | 23,0 |
| Стандартный электродный потенциал (по отношению к водородному электроду) в в | -2,34 |
| Электрохимический эквивалент в Г/а·ч | 0,454 |

¹ Данные получены при кратковременных испытаниях и не могут достоверно отображать истинную жаропрочность сплавов.

Химические свойства. Магний — двухвалентный элемент. Он обладает боль-

шой активностью к кислороду, возрастающей с повышением температуры и увеличением поверхности окисления. Магниевый порошок и тонкая лента сгорают на воздухе при ослепительно белом пламени.

Магний энергично растворяется в разбавленных минеральных кислотах. Концентрированная H_2SO_4 и смесь H_2SO_4 и HNO_3 при комнатной температуре действуют слабо. В растворах едких щелочей не разрушается. Устойчив к фтористым соединениям, керосину, бензину и минеральным маслам. С водой энергично реагирует с выделением водорода и образованием гидрооксида магния. На воздухе тускнеет вследствие образования тонкой пленки окисла.

Магний является эффективным восстановителем для многих менее активных металлов.

В отличие от алюминия магний не сплавляется с железом, хотя и растворяет его при соответствующих температурах расплава в небольших количествах, но достаточных для заметного снижения коррозионной стойкости.

Окисная пленка магния не обладает защитными свойствами, в силу чего плавка должна производиться под слоем флюса, а все изделия из магния

и его сплавов покрываться защитными покрытиями.

Механические свойства зависят от степени чистоты и состояния магния. В литом состоянии предел прочности при растяжении колеблется от 10 до 13 кг/мм² при относительном удлинении 3—6%. В деформированном состоянии значения $\sigma_{вр}$ достигают 20 кг/мм² при относительном удлинении 8—10%.

Примеси в магнии и его торговые марки. Основными примесями магния являются Fe, Si, Cu, Al, Na и K. В технике обычно применяется магний чистоты не ниже 99,5%, чаще 99,7—99,8%.

В табл. 80 приведены торговые марки магния различной чистоты (классификация по ГОСТ 804-49) и допустимые содержания примесей.

Кроме металлических примесей, в магнии могут присутствовать окисные и флюсовые включения, а также газы, главным образом водород.

Наиболее эффективным методом очищения от металлических примесей и хлоридов является возгонка путем сублимации в вакууме. Сублимированный магний содержит не более 0,02% Al, 0,002% Si, 0,005% Fe и до 0,01% (KCl + NaCl), т. е. имеет чистоту 99,95—99,97%.

Таблица 80

Магний (по ГОСТ 804-49)

| Марка сплава | Химический состав в % | | | | | | | | | | Примерное назначение |
|--------------|-----------------------|-------------------|------|---------|-------|------|-------|------|-------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Mg не менее | Примесей не более | | | | | | | | | |
| | | Fe | Si | Fe + Si | Cl | Na | K | Cu | Ni | Всего | |
| Mr1 | 99,91 | 0,04 | 0,03 | 0,06 | 0,005 | 0,01 | 0,005 | 0,01 | 0,001 | 0,09 | Для специальных литейных и деформируемых сплавов на магниевой и алюминиевой основах, для пиротехнических порошков, для химической промышленности |
| Mr2 | 99,85 | 0,05 | 0,05 | — | 0,005 | 0,02 | 0,005 | 0,02 | 0,002 | 0,15 | Для литейных и деформируемых сплавов на магниевой и алюминиевой основах, для раскисления, для десульфуризации никельсодержащих сплавов, для магниевых лигатур |

Примечание. Содержание алюминия, допускаемое в количестве не более 0,05% для магния марки Mr1 и не более 0,1% для марки Mr2, гарантируется заводом-изготовителем и включается в содержание магния.

Методы химического анализа по ГОСТ 851-51.

Литейные магниевые сплавы

Преимущества магниевых сплавов перед алюминиевыми следующие: 1) удельный вес в 1,5 раза меньше; 2) отличная механическая обрабатываемость, допускающая весьма высокие скорости резания. К недостаткам следует отнести: 1) худшие литейные свойства; 2) необходимость плавки под защитными флюсами и введения специальных добавок в формовочную землю и 3) меньшее сопротивление коррозии. Эти недостатки могут быть преодолены применением соответствующих технических мероприятий (рациональная конструкция литниковых систем и самих отливок, небольшие добавки бериллия, нанесение защитных оксидных покрытий и т. п.). Недостатком сплавов следует также считать низкие упругие свойства и модуль упругости.

Основными компонентами современных литейных магниевых сплавов являются алюминий и цинк. В качестве обязательных добавок в эти сплавы вводится марганец, а в специальных случаях — церий и кальций. Существуют также сплавы магний — цинк — цирко-

ний, сочетающие хорошую прочность с высокой пластичностью. Сплавы с марганцем и церием, а также с некоторыми другими компонентами известны как жаропрочные композиции.

Для улучшения механических свойств сплавов рекомендуется специальная обработка расплава, вызывающая измельчение зерна. Последнее достигается применением перегрева до 850—900°С, обработкой FeCl₃ (эльфинирование) и обработкой углеродистыми веществами (инокуляция углеродом) при 800—820°С. Предпочтения заслуживает третий метод.

Все эти методы эффективны лишь при обязательном присутствии в сплаве алюминия.

В табл. 81 приведены химические составы литейных магниевых сплавов, в табл. 82 — их физические свойства и в табл. 83 — гарантируемые и типичные механические свойства.

С п л а в МЛ1 в настоящее время не применяется.

С п л а в МЛ2 имеет повышенное сопротивление коррозии и способен к сварке. Применяется для отливки горловин бензобаков и несложной бензо-

Литейные магниевые сплавы (по ГОСТ 2856-45)

Таблица 81

| Химический состав в % (Mg — остальное) | | | | | | | | |
|----------------------------------------|--------------|----------|---------|----------|-------------------|------|------|----------------|
| Система | Марка сплава | Al | Zn | Mn | Примесей не более | | | |
| | | | | | Si | Fe | Cu | Всего примесей |
| Mg — Si Mg — Mn | МЛ1 | — | — | 1—1,5 Si | — | 0,15 | 0,15 | 0,75 |
| | МЛ2 | ≤ 0,2 | ≤ 0,2 | 1—2 | ≤ 0,25 | 0,15 | 0,15 | 1,0 |
| | МЛ3 | 2,5—3,5 | 0,5—1,5 | 0,15—0,5 | ≤ 0,25 | 0,15 | 0,15 | 0,60 |
| Mg — Al — Zn | МЛ4 | 5,0—7,0 | 2,0—3,0 | 0,15—0,5 | ≤ 0,25 | 0,15 | 0,15 | 0,60 |
| | МЛ5 | 7,5—9,3 | 0,2—0,8 | 0,15—0,5 | ≤ 0,25 | 0,15 | 0,15 | 0,60 |
| Mg — Al | МЛ6 | 9,0—11,0 | ≤ 2,0 | 0,1—0,5 | ≤ 0,25 | 0,15 | 0,15 | 0,60 |

Примечание. Для всех сплавов в общей сумме примесей допускается до 0,03% Ni и до 0,01% Be.

Физические свойства литейных магниевых сплавов

Таблица 82

| Марка сплава | Удельный вес в Г/см ³ | Коэффициент линейного расширения при | | | Коэффициент теплопроводности λ в кал/см сек°С |
|--------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| | | α _{20—100} ·10 ⁶ | α _{20—200} ·10 ⁶ | α _{20—300} ·10 ⁶ | |
| МЛ2 | 1,80 | 26,6 | 27,3 | 27,7 | 0,32 |
| МЛ3 | 1,80 | 26 | 27 | — | 0,25 |
| МЛ4 | 1,83 | 26,4 | 27,6 | 28,3 | 0,19 |
| МЛ5 | 1,81 | 26,8 | 28,1 | 28,7 | 0,185 |
| МЛ6 | 1,81 | 27,1 | 27,3 | 27,7 | 0,185 |

Электропроводность в процентах от электропроводности меди всех марок сплава — от 25 до 31.

Таблица 83

Минимальные (гарантируемые) и типичные механические свойства литейных магниевых сплавов

| Марка сплава * | Состояние сплава | Гарантируемые свойства | | | Типичные свойства | | | | | |
|----------------|----------------------------|------------------------------------|--------------|----------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--------------|----------------------------|
| | | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | δ в % | H_B в кг/мм ² | $\sigma_{вр}$ в кг/мм ² | σ_T в кг/мм ² | $\sigma_{T,СЖС}$ в кг/мм ² | σ_{-1} в кг/мм ² | δ в % | H_B в кг/мм ² |
| МЛ2 | Литье в землю | 9 | 3 | 30 | 10 | 3 | 17 | — | 3 | 35 |
| МЛ3 | То же | 16 | 6 | 40 | 18 | 5,5 | 28 | 8,5 | 8 | 45 |
| МЛ4 | " | 16 | 3 | 50 | 16 | 9 | 35 | — | 3 | 55 |
| МЛ4-Т4 | То же, после закалки | 21 | 4 | 50 | 24 | 9 | 35 | 8 | 8 | 50 |
| МЛ4-Т6 | То же, закалка и старение | 22 | 2 | 60 | — | — | — | — | — | — |
| МЛ5 | Литье в землю или в кокиль | 15 | 2 | 50 | 15 | 8 | 35 | 5 | 3 | 55 |
| МЛ5-Т4 | То же, закалка | 21 | 4 | 50 | 25 | 8 | 37 | 5 | 5 | 55 |
| МЛ5-Т6 | То же, закалка и старение | 22 | 2 | 65 | — | — | — | — | — | — |
| МЛ6 | Литье в землю | 15 | 1 | 50 | 14 | 8 | 36 | 5,7 | 2 | 60 |
| МЛ6-Т4 | Литье в землю и закалка | 21 | 3 | 60 | 24 | 8 | 38 | 6,0 | 8 | 60 |
| МЛ6-Т6 | То же, закалка и старение | 21 | 1 | 65 | 25 | 12 | 44 | 5,0 | 2 | 80 |

* Т4 — гомогенизация; Т6 — гомогенизация и старение.

Деформируемые магниевые сплавы

Таблица 84

| Система | Марка сплава | Химический состав в % (Mg — остальное) | | | | | | | | |
|-------------------|--------------|----------------------------------------|---------|----------|-------------------|------|-----|------|-------|--------|
| | | Al | Zn | Mn | Примесей не более | | | | | |
| | | | | | Be | Fe | Si | Cu | Ni | Прочие |
| Mg — Mn | МА1 | ≤ 0,3 | < 0,1 | 1,3—2,5 | 0,02 | 0,05 | 0,3 | 0,05 | 0,01 | 0,3 |
| | МА2 | 3,0—4,0 | 0,2—0,8 | 0,15—0,5 | 0,02 | 0,1 | 0,1 | 0,05 | 0,005 | 0,3 |
| | МА8 | церий 0,15—0,25 | < 0,1 | 1,5—2,5 | 0,02 | 0,05 | 0,3 | 0,05 | 0,01 | 0,3 |
| Mg — Al — — Zn | МА3 | 5,5—7,0 | 0,5—1,5 | 0,15—0,5 | 0,02 | 0,05 | 0,3 | 0,05 | 0,005 | 0,3 |
| | МА5 | 7,8—9,2 | 0,2—0,8 | 0,15—0,5 | 0,02 | 0,05 | 0,3 | 0,05 | 0,005 | 0,3 |

масляной арматуры. Литейные свойства низкие: повышенный коэффициент усадки и пониженная жидкотекучесть. Практическое значение сплава определяется применением деформируемого сплава.

Сплав МЛ3 обладает лучшими механическими и литейными свойствами, чем МЛ2, термически не обрабатывается, микрорыхлоты отсутствуют, обработка резанием отличная, сопротивление коррозии удовлетворительное.

Сплав МЛ4 обладает средней жидкотекучестью, повышенным коэффициентом усадки, повышенной окисляемостью и склонностью к образованию микрорыхлот и черноты в массивных сечениях. Требует применения холодильников и больших выпоров. Для литья в кокиль не рекомендуется. Сопротивление коррозии после оксидирования хорошее, обрабатываемость резанием отличная. Сплав применяется в литом, в закаленном и иногда искус-

Таблица 85

Физические свойства деформируемых магниевых сплавов

| Марка сплава | Удельный вес в Г/см ³ | Коэффициент линейного расширения в 20—100°С | Коэффициент теплопроводности в кал/см·сек °С |
|--------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| МА1 | 1,76 | 26 | 0,32 |
| МА2 | 1,78 | 26 | 0,25 |
| МА3 | 1,80 | 25 | 0,23—0,24 |
| МА5 | 1,80 | 26 | 0,22—0,18 |

ственно состаренном состоянии для деталей, подвергаемых статическим и динамическим нагрузкам (детали самолетов, авиационных и автомобильных двигателей и различных корпусов для приборов и инструмента).

Сплав МЛ5 отличается хорошими литейными свойствами, повышенной жидкотекучестью, менее склонен к образованию микрорыхлот и пористости. Применяется для литья в землю, кокиль и под давлением. Обрабатываемость резанием отличная, сопротивление коррозии удовлетворительное. Применяется в закаленном, а также закаленном и искусственно состаренном состояниях для высоконагруженных деталей самолетов, авиадвигателей, радиоаппаратуры, корпусов фотоаппаратов, биноклей, пишущих машин и т. п.

Сплав МЛ5 широко применяется в технике и практически вытеснил другие марки.

Сплав МЛ6 обладает хорошими литейными свойствами и применяется для литья в землю, кокиль и под давлением. По своим механическим и технологическим свойствам близок к сплаву МЛ5, но отличается меньшей пластичностью, в силу чего применяется для деталей средней нагруженности различного назначения (радиоаппаратура, бинокли, фотоаппараты и т. п.).

Рекомендуемый температурный режим при термообработке сплавов МЛ4, МЛ5 и МЛ6: нагрев перед закалкой — МЛ4 при $380^{\circ} \pm 5^{\circ}$, МЛ5 и МЛ6 при $415^{\circ} \pm 5^{\circ}$; время выдержки 10—16 час., охлаждение на воздухе; старение при $175^{\circ} \pm 5^{\circ}$ в течение 16 час.

Деформируемые магниевые сплавы

Деформируемые магниевые сплавы применяются для штамповок, режы для производства листов, труб и профилей.

По своим химическим составам они очень близки к литейным сплавам.

По сравнению с алюминиевыми сплавами отличаются меньшей технологичностью и требуют во всех случаях деформирования применения нагрева как самого деформируемого металла, так и инструмента. Большая затрудненность пластической деформации определяется наличием только одной плоскости скольжения при комнатной температуре: плоскость базиса (0001). При повышении температуры (выше 225°) появляются новые плоскости скольжения [плоскость

пирамиды первого рода первого порядка (1011), основная грань шестигранника] и пластичность магния резко возрастает, приближаясь к пластичности кубических металлов. Магниевые сплавы склонны к двойникованию, которое протекает в основном в плоскости пирамиды первого рода второго порядка (1012). Температура горячего деформирования лежит в пределах $280—500^{\circ}\text{C}$ в зависимости от состава сплава и вида деформации. Наиболее предпочтительной является деформация на гидравлических прессах. Химические составы деформируемых сплавов приведены в табл. 84, физические свойства — в табл. 85 и механические свойства — в табл. 86.

Сплав МА1 обладает удовлетворительной пластичностью в горячем состоянии, хорошо сваривается и является наиболее коррозионностойким. Литейные свойства допускают при непрерывном литье применение повышенных скоростей литья. Термообработкой сплав не упрочняется. Применяется преимущественно в форме листов и штамповок (арматура баков).

Модификация МА1 (сплав МА8 с 0,2% Се) отличается более высокими механическими свойствами при нормальных и повышенных температурах.

Сплав МА2 отличается наибольшей пластичностью. Термообработкой не упрочняется. Сопротивление коррозии пониженное. Применяется для штамповок сложной формы.

Сплав МА3 обладает средней прочностью и средней пластичностью, термообработкой не упрочняется, сопротивление коррозии пониженное. Применяется в виде листов, труб, профилей и штамповок. Отжиг готовых изделий при температуре $320—400^{\circ}\text{C}$, охлаждение на воздухе.

Таблица 86

Минимальные (гарантируемые) и типичные механические свойства деформируемых магниевых сплавов

| Марка сплава | Вид полуфабриката | Гарантируемые свойства | | | Типичные свойства | | | | |
|--------------|------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| | | Предел прочности при растяжении в кг/мм ² | Относительное удлинение в % | Твердость НВ в кг/мм ² | Предел прочности при растяжении в кг/мм ² | Предел текучести в кг/мм ² | Предел выносливости в кг/мм ² | Относительное удлинение в % | Твердость по Бринеллю |
| МА1 | Листы 0,6—3 мм** | 19 | 5 | — | 21 | 12 | 7,5* | 8 | 45 |
| | То же, 3—10 мм | 17 | 3 | — | — | — | — | — | — |
| | Прутки*** | 18 | 2 | 40 | — | — | — | — | — |
| | Поковки и штамповки*** | 18 | 2 | 40 | — | — | — | — | — |
| МА2 | Прутки*** | 24 | 5 | 45 | 26 | 16 | 11* | 8 | 55 |
| | Поковки и штамповки*** | 24 | 5 | 45 | — | — | — | — | — |
| МА3 | Прутки*** | 26 | 8 | 50 | 30 | 19 | 15 | 14 | 60 |
| | Поковки и штамповки*** | 26 | 8 | 50 | — | — | — | — | — |
| МА5 | Прутки**** | 27 | 6 | 55 | 30 | 22 | 13 | 8 | 75 |
| | Поковки и штамповки | 27 | 6 | 55 | — | — | — | — | — |
| МА8 | Листы 0,6—3 мм | 24 | 15 | — | — | — | — | — | — |
| | То же 3,1—10 мм | 23 | 15 | — | — | — | — | — | — |

* На базе 5¹⁰ циклов. Состояние сплава: ** Отожженное. *** Прессованное. **** Прессованное и закаленное.

Сплав МА5 отличается более высокой прочностью, но меньшей пластичностью по сравнению с МА3. Термически обрабатывается — нагрев при 410—425° С с охлаждением на воздухе. Сопротивление коррозии пониженное.

Применяется для штамповки деталей, несущих повышенные нагрузки.

Все деформируемые магниевые сплавы, как и литейные, отлично обрабатываются резанием.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Бек А., Магний и его сплавы, Оборонгиз, 1941.
2. Беляев А. И., Металлургия легких металлов, Металлургиздат, 1949.
3. Берковский И. Я. и Колоколова А. Г., Никелевые сплавы, свойства, применение и обработка, Металлургиздат, 1941.
4. Бочвар А. М., Исследование белых антифрикционных сплавов, М. 1918.
5. Бочвар А. А., Физико-химические свойства и строение металлов и сплавов. Цветные металлы, т. II, вып. 1. ГНТИ, 1931.
6. Бочвар А. А., Металловедение, Металлургиздат, 1945.
7. Виноградов С. В., Антифрикционные сплавы на цинковой основе, Трение и износ в машинах, АН СССР, 1947.
8. Воронов С. М., Процессы упрочнения сплавов алюминий — магний — кремний, Оборонгиз, 1946.
9. Воронов С. М. и Градусов П. И.,

Справочник по свойствам и применению цветных металлов, т. III, ОНТИ, 1936.

10. Крымов В. З., Литье магниевых сплавов, Оборонгиз, 1948.

11. Смирягин А. П., Примеси в оловянистых бронзах, Сборник „Новая техника черного и цветного литья“, ОНТИ, 1934.

12. Смирягин А. П., Специальные бронзы, Новое в технологии литейного производства, Машгиз, 1941.

13. Смирягин А. П., Промышленные цветные металлы и сплавы, Металлургиздат, 1949.

14. Смирягин А. П. и Шпагин А. И., Оловянистые бронзы, баббиты, припои и их заменители, Металлургиздат, 1949.

15. Шпагин А. И., Припои, Сборник „Замена олова в сплавах цветных металлов“, Металлургиздат, 1935.

16. Шпагин А. И., Оловянистые баббиты и их заменители, Металлургиздат, 1942.

17. Энциклопедический справочник „Машиностроение“, т. 4, Машгиз, 1947.

ГЛАВА VII

МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ. НАПЛАВОЧНЫЕ ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ

МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Технологию изготовления металлокерамических изделий — см. т. 5, гл. XIII.

В табл. 1 приведена общая классификация металлокерамических изделий (продуктов порошковой металлургии) с указанием их назначения

Классификация металлокерамических изделий и их назначение

Таблица 1

| Тип изделия | Основные виды изделий | Краткая техническая характеристика | Основные области применения |
|---------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Узлы трения | Подшипники | Пористые изделия на медной или железной основе с объемом пор 15—30%. Поры заполняются маслом | Узлы трения различных машин и аппаратов (подшипники скольжения) |
| | Фрикционные накладки | Изготавливаются из металлических сплавов металлокерамического типа на медной или железной основе с добавками неметаллических составляющих; материал изделий обладает высоким коэффициентом трения | Тормозные узлы самолетов, автомобилей, тракторов, танков и других машин |
| Пористые | Фильтры цилиндрические плоские и другие | Изготавливаются из мелких гранул бронзы, нержавеющей стали и других металлов; имеют поры правильной формы | Фильтрация газов, жидкостей, топлива (в химическом машиностроении, автомобилях, самолетах и других машинах) |
| Компактные | Детали машин и аппаратов из разнообразных металлов и сплавов | Разнообразные по форме изделия | Различные отрасли машиностроения и приборостроения |
| Электро-технические | Контакты | Изготавливаются из псевдосплавов тугоплавких металлов с медью, серебром и другими металлами; отличаются высокими прочностью и электропроводностью | Контактная сварка; приборы, в которых происходит искровой разряд |
| | Щетки | Изготавливаются из псевдосплавов меди с графитом или углем | Электромоторы, динамомашин и электротехнические аппараты |
| | Магниты | Изготавливаются из чистого железного порошка, а также из сплавов на основе железа, никеля, алюминия, кобальта и других металлов | Различные радиотехнические приборы и электротехнические аппараты |

Продолжение табл. 1

| Тип изделия | Основные виды изделий | Краткая техническая характеристика | Основные области применения |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Твердые сплавы | Сплавы на основе карбидов титана, вольфрама и других компонентов | Состоит из кристаллов карбидной фазы, сцементированных твердым раствором карбида в металлах железной группы (чаще всего кобальта); отличаются высокими твердостью и износостойкостью | Металлообрабатывающие и буровые инструменты и другие области |
| Из тугоплавких металлов | Изделия в виде проволок, листа, контактов и др. | Изготавливаются с применением вольфрама, молибдена, тантала и других металлов | Производство лам накаливания, различные электротехнические приборы |

Антифрикционные материалы и изделия. Антифрикционные металлокерамические материалы изготавливаются преимущественно на железной и медной основах. Материалы на медной основе отличаются меньшим коэффициентом трения, лучшей прирабатываемостью, но обладают меньшей механической прочностью.

В табл. 2 приводятся характеристики наиболее типичных антифрикционных материалов (пористых подшипников), выпускаемых в СССР.

В табл. 3 приведен химический состав пористых подшипников.

При значениях pv до $40 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \cdot \frac{\text{м}}{\text{сек}}$ пористые подшипники, пропитанные маслом, не нуждаются в дополнительной смазке, а при большем значении необходимо во избежание задиrow и быстрого износа давать дополнительную смазку.

Перлитно-ферритная структура является оптимальной для железографита. Нарушения технологического процесса производства железографита могут привести к образованию чисто ферритной структуры или структуры с избытком цемента.

Свойства пористых подшипников [1]

Таблица 2

| Свойства | Единица измерения | Бронзографит | Железографит |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------|
| Удельный вес | — | 6—6,2 | 6,5—6,7 |
| Твердость H_B | кг/мм ² | 18—20 | 35—40 |
| Предел прочности при сжатии | кг/мм ² | 60—70 | 75—80 |
| Осадка при сжатии | % | 45—50 | 35—40 |
| Предел прочности при срезе | кг/мм ² | 10—12 | 20—25 |
| Масловпитываемость | % | 2—3 | 2—3 |
| Коэффициент трения со смазкой по стали | — | 0,004—0,007 | 0,006—0,009 |
| Коэффициент трения без смазки по стали | — | 0,04—0,07 | 0,08—0,1 |
| Теплопроводность при 100—600° С | $\frac{\text{м. кал}}{\text{см. сек}}$ | 0,08—0,15 | — |
| Коэффициент линейного расширения (20—500° С) | $\frac{\text{мм}}{\text{м. град}}$ | 12·10—6—17·10—6 | 9·10—6—11·10—6 |
| Максимально допустимая нагрузка | кг/см ² | 60—80 | 150—200 |
| Допустимая рабочая температура | °С | 40—60 | 60—100 |
| Максимальное значение pv | $\frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \cdot \frac{\text{м}}{\text{сек}}$ | 25—40 | 180—220 |

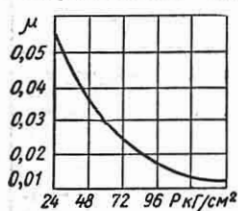
Таблица 3

Химический состав пористых подшипников в % [1]

| Сплав | Fe | Cu | Sn | Графит | Примеси |
|--------------|-------|-------|------|--------|---------|
| Бронзографит | — | 88—86 | 9—10 | 2—3 | До 1,5 |
| Железографит | 97—96 | — | — | 2—3 | До 1,5 |

Железографит, обладающий ферритной структурой, обладает низкими антифрикционными свойствами, легко намазывается на поверхность сопрягаемой детали. При наличии в его составе цемента он царапает поверхность сопрягаемой детали, что может привести к выкрашиванию последней.

На антифрикционные свойства металлокерамических подшипников значительное влияние оказывают условия эксплуатации — давление, окружная скорость, температура.

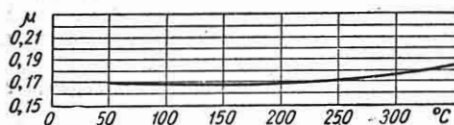


Фиг. 1.

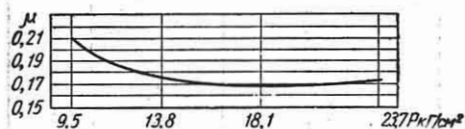
На фиг. 1 приведен график зависимости коэффициента трения железного графита от удельной нагрузки.

Фрикционные материалы. Фрикционные металлокерамические материалы имеют в своем составе три типа компонентов — металлы, составляющие его основу, графит, смазывающий и предохраняющий материал от износа, и наполнители в виде кремния, асбеста, кремнезема, повышающие коэффициент трения материала.

Химический состав наиболее характерных фрикционных материалов приведен в табл. 4.



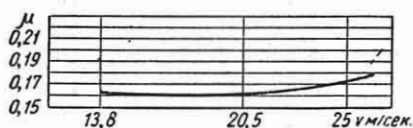
Фиг. 2. Зависимость коэффициента трения фрикционного металлокерамического материала на медной основе от температуры поверхности трения ($\rho = 21,7 \text{ кг/см}^2$, $v = 13 \div 25 \text{ м/сек}$).



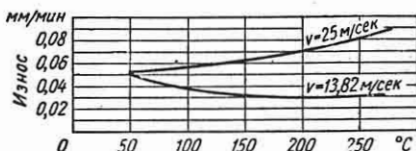
Фиг. 3. Зависимость коэффициента трения фрикционного материала от нагрузки ($v = 13,8 \text{ м/сек}$, $t = 50 \div 300^\circ \text{C}$).

Наиболее широко применяются фрикционные материалы на медной основе

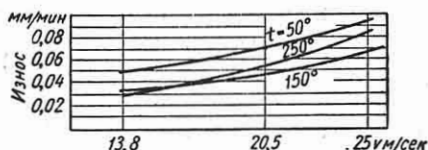
Важнейшие свойства этих материалов приведены в табл. 5, а на фиг. 2—7



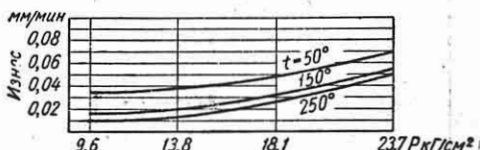
Фиг. 4. Зависимость коэффициента трения фрикционного материала от скорости скольжения ($\rho = 21,7 \text{ кг/см}^2$, $t = 50 \div 300^\circ \text{C}$).



Фиг. 5. Зависимость износа фрикционного материала от температуры поверхности трения ($\rho = 21,7 \text{ кг/см}^2$).



Фиг. 6. Зависимость износа фрикционного материала от скорости скольжения.



Фиг. 7. Зависимость износа фрикционного материала от нагрузки ($v = 13,8 \text{ м/сек}$).

показаны графики зависимости коэффициента трения и износа этих материалов от условий эксплуатации.

Химический состав фрикционных материалов [1]

| Основа | Химический состав в % | | | | | | |
|----------------|-----------------------|------|------|-------|--------|--------|---------|
| | Cu | Sn | Pb | Fe | Графит | Асбест | Кремний |
| Медная | 60—75 | 5—10 | 6—15 | — | 4—8 | До 1 | До 1 |
| Железная . . . | — | — | 5—10 | 80—86 | До 7 | 2 | — |

Таблица 4

Свойства фрикционных материалов на медной основе [1]

Таблица 5

| Свойства | Единица измерения | Показатели |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Удельный вес | — | 5,8—6 |
| Твердость H_B : | | |
| при 20° | кг/мм ² | 18—25 |
| при —60° | " | 25—23 |
| при 500° | " | 10—12 |
| Предел прочности при срезе | " | 6—7 |
| Предел прочности при сжатии | " | 25—23 |
| Предел прочности при растяжении: | | |
| при 20° | " | 2—4 |
| при 60° | " | 7,6—8,5 |
| при 500° | " | 0,36—0,6 |
| Коэффициент трения: | | |
| о чугун всухую | | 0,26—0,3* |
| о чугун в масле | | 0,1—0,12 |
| Коэффициент линейного расширения в интервале температур 20—500° | $\frac{мм}{м \cdot град}$ | 17,6·10 ⁻⁶ —22·10 ⁻⁶ |
| Теплопроводность в интервале температур 100—300° | $\frac{м \cdot ал}{см \cdot сек \cdot °C}$ | 0,095—0,1 |
| Максимально допустимая рабочая температура | °C | До 300°** |

* При нагрузке 20 кг/см². ** Для материалов на железной основе — до 900°.

Фильтры. Металлокерамические фильтры изготавливают из мелкой металлической дробы, главным образом бронзы, реже никеля, латуни, серебра. Они выпускаются в виде цилиндров, конусов с дном, конусов без дна, колец, полос и других изделий.

Некоторые свойства бронзовых фильтров приведены в табл. 6.

Производительность фильтров характеризуется потерей напора фильтруемой жидкости в зависимости от скорости фильтрования и толщины стенок фильтра.

В табл. 7 приведена характеристика производительности бронзовых фильтров по потере напора.

Свойства бронзовых фильтров [1]

Таблица 6

| Свойства | Единица измерения | Показатели |
|----------------------------------|--------------------|------------|
| Предел прочности при растяжении | кг/мм ² | 3—4 |
| Предел прочности при сжатии | " | 10—12 |
| Допустимая рабочая температура: | | |
| в нейтральной или защитной среде | °C | 500 |
| в окислительной атмосфере | °C | 180 |
| Удлинение | % | 2,8—3,5 |

Характеристика бронзовых фильтров по потере напора [1]; [3]

Таблица 7

| Скорость фильтрования в л/мин·см ² | При фильтровании воды | | | | Скорость фильтрования в л/мин·см ² | При фильтровании воздуха | | | |
|-----------------------------------------------|------------------------------------|------|------|------|-----------------------------------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|
| | Толщина стенок в мм | | | | | Толщина стенок в мм | | | |
| | 1,5 | 2,25 | 3,0 | 3,75 | | 1,5 | 2,25 | 3,0 | 3,75 |
| | Потеря напора в кг/см ² | | | | | Потеря напора в мм вод. ст. | | | |
| 15 | 0,35 | 0,40 | 0,50 | 0,78 | 0,045 | 0,02 | 0,03 | 0,08 | 0,15 |
| 30 | 0,70 | 0,85 | 1,40 | 1,75 | 0,45 | 0,15 | 0,25 | 0,50 | 0,75 |
| 45 | 1,0 | 1,6 | 2,10 | 2,80 | 0,90 | 0,25 | 0,50 | 1,50 | 2,0 |
| 60 | 1,40 | 2,1 | 2,80 | 3,50 | 4,50 | 2,0 | 5,0 | 10,0 | 20,0 |
| 75 | 1,70 | — | — | — | 9,0 | 5,0 | 10,0 | 20,0 | 35,0 |
| | | | | | 18,0 | 20,0 | 22,0 | 50,0 | 110,0 |
| | | | | | 45,0 | 100,0 | 120,0 | 120,0 | 175,0 |

Контакты. Металлокерамические контакты применяются в искровых приборах и машинах для контактной сварки. Они сочетают в себе высокую прочность и эрозионную стойкость с высокой электропроводностью. Это достигается наличием в них тугоплавких металлов и металлов высокой электропроводности, чаще всего меди или серебра.

В табл. 8 приводится химический состав наиболее широко применяемых контактов, а в табл. 9 — их свойства.

Магниты. Металлокерамические магниты применяются во многих отраслях промышленности, и в частности, в производстве телефонных аппаратов, радиоаппаратуры, магнето, приборов электропромышленности и др.

Таблица 8

Области применения контактов

| Контакты | Основная область применения |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Вольфрамомедные Вольфрамосеребряные | Контактная сварка Контактная сварка, дугогасители, искровые приборы Дугогасители |
| Вольфрамосеребряноникелевые Серебрянографитовые Серебрянокадмиевые Серебряноникелевые | Контакты приборов, работающих на воздухе То же " |

Таблица 9

Свойства металлокерамических контактов [1], [3]

| Контакты | Химический состав в % | | | | | | Свойства контактов | | | |
|-----------------------------|-----------------------|----|-------|-------|--------|-------|--------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------------------------|
| | W | Cu | Ag | Ni | Графит | CdO | Твердость H_B | Плотность в $г/см^3$ | Электропроводность в % к Ag или Cu | Предел прочности при сжатии в $кг/мм^2$ |
| Вольфрамомедные | 70 | 30 | — | — | — | — | 98—100 | 9,6—9,8 | 85—87 | 138—140 |
| | 50 | 50 | — | — | — | — | 75—80 | 7,8—7,9 | 90—92 | 95—100 |
| | 30 | 70 | — | — | — | — | 65—70 | 8,7—8,8 | 92—95 | 75—80 |
| Вольфрамосеребряноникелевые | 83 | — | 15 | 2 | — | — | 90—100 | 13,5—14 | 80—85 | 125—130 |
| | 13 | — | 85 | 2 | — | — | 50—55 | 10,5—11 | 90—95 | 55—60 |
| Вольфрамосеребряные | 70 | — | 30 | — | — | — | 80—85 | 15,2 | 75—80 | 85—90 |
| | 50 | — | 50 | — | — | — | 40—60 | 13,5 | 80—85 | 80—85 |
| | 30 | — | 70 | — | — | — | 30—45 | 12,0 | 90—95 | 60—65 |
| Серебряноникелевые | — | — | 60—90 | 40—10 | — | — | 35—40 | 8,2—9,6 | 60—80 | 45—50 |
| Серебрянографитовые | — | — | 92—85 | — | 8—15 | — | 28—30 | 7—8 | 54—60 | 25—30 |
| Серебрянокадмиевые | — | — | 88—85 | — | — | 12—15 | 25—28 | 7,8—8,2 | 68—80 | 25—30 |

Таблица 10

Химический состав металлокерамических магнитов [1], [2]

| Тип магнита | Химический состав в % | | | | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-----|----|--------|---------|
| | Fe | Ni | Al | Co | Cu | Ag | Si | Примеси |
| Карбонильное железо | 99,9 | — | — | — | — | — | — | 0,1 |
| Железоникелевый сплав | 75 | 25 | — | — | — | — | — | — |
| Альсифер | Ост. | — | 6,5—9 | — | — | — | 8,5—11 | — |
| Альнико | — | 15—20 | 8—12 | 5—15 | 0,5 | — | — | До 1,5 |
| Альниси | — | 35—38 | 13—15 | 12—15 | 3—4 | — | — | — |
| Альни | — | 22—25 | 12—15 | — | 0—4 | — | — | — |

Таблица 11

Свойства металлокерамических магнитов [1], [2]

| Тип магнита | Плотность в $\Gamma/\text{см}^3$ | Коэрцитивная сила в э | Остаточная индукция в гс | Магнитная проницаемость в гс/э | Магнитная энергия в $\Gamma/\text{см}^2$ |
|---------------------|----------------------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------------|------------------------------------------|
| Карбонильное железо | 6,8—6,9 | 1,6 | 8300—6000 | 3200—20 000 | — |
| Альсифер | 4,6—5 | 400—450 | 3500—5000 | — | 18 000—20 000 |
| Альнико | 5,7—5,9 | 550—700 | 5000—6000 | 3500—3 800 | 26 000—30 000 |
| Альнис | 5,4—5,8 | 500—600 | 2500—3000 | 1700—2 000 | — |
| Альни | 6,5—6,7 | 350—400 | 3500—6000 | 2000—2 700 | 30 000—36 000 |

Металлокерамические магнитные материалы разделяются на три основных типа — магниты из чистого железа, прессмагниты из порошков специальных сплавов и магнитодиэлектрики — композиции металлического сплава с бакелитовым лаком.

Химический состав важнейших типов

металлокерамических магнитов приведен в табл. 10, а некоторые свойства этих материалов — в табл. 11.

Электрощетки. Электрощетки применяются в динамомашинках и других электрических машинах.

Характеристики свойств щеток приведены в табл. 12.

Таблица 12

Свойства щеток [1]

| Группа щеток | Марка | Номинальная плотность тока в $\text{а}/\text{см}^2$ | Максимальная окружная скорость в $\text{м}/\text{сек}$ | Удельная нагрузка в $\Gamma/\text{см}^2$ | Удельное электросопротивление в $\text{ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ | Твердость | | Переходное падение напряжения на пару щеток при номинальном токе в в $v = 15 \text{ м}/\text{сек}$ | Коэффициент трения при $v = 15 \text{ м}/\text{сек}$ | Износ за 50 час. работы при $v = 15 \text{ м}/\text{сек}$ | Удельная нагрузка при измерении износа в $\Gamma/\text{см}^2$ |
|----------------------|-------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| | | | | | | по отскоку | по Бринеллю | | | | |
| Угльнографитовые | T2, T6, УГ2 | 6 | 10 | 200—250 | 40—60 | 45—58 | — | 2±0,5 | 0,30 | 0,10 | 220 |
| | | 8 | 15 | 200—250 | 18—30 | 40—60 | — | 2±0,4 | 0,25 | 0,30 | 220 |
| Графитовые | G1 | 7 | 12 | 200—250 | 30—46 | 35—50 | — | 2,2±0,5 | 0,30 | 0,20 | 220 |
| | G2 | 8 | 15 | 200—250 | 25—37 | 40—50 | — | 1,7±0,5 | 0,25 | 0,15 | 220 |
| | G3 | 10—11 | 25 | 200—250 | 10—15 | 30—40 | — | 1,9±0,4 | 0,24 | 0,20 | 220 |
| | G6 | 9 | 18 | 200—250 | 26—42 | 35—50 | — | 2,2±0,6 | 0,25 | 0,20 | 220 |
| | G8 | 11 | 25 | 200—300 | 10—20 | 20—40 | — | 1,9±0,4 | 0,25 | 0,15 | 220 |
| Электрографитованные | ЭГ-2 | 10 | 25 | 200—250 | 20—30 | 46—60 | — | 2,75±0,6 | 0,20 | 0,10 | 220 |
| | ЭГ-2а | 10 | 45 | — | 18—35 | — | — | 2,6±0,6 | 0,23 | 0,15 | 220 |
| | ЭГ-4 | 12 | 40 | 150—200 | 10—16 | 20—30 | — | 2±0,4 | 0,20 | 0,25 | 220 |
| | ЭГ-6 | 9 | — | 200—250 | 30—46 | 47—63 | — | 2,5±0,6 | 0,25 | 0,15 | 220 |
| | ЭГ-8 | 10 | 40 | 200—400 | 40—50 | 42—55 | — | 2,4±0,5 | 0,25 | 0,15 | 220 |
| | ЭГ-10 | 9 | — | 200—250 | 40—56 | 50—70 | — | 2,4±0,6 | 0,25 | 0,15 | 220 |
| | ЭГ-11 | 10—11 | 40 | — | 26—42 | — | — | 3±0,5 | 0,25 | 0,15 | 220 |
| | ЭГ-12 | 10—11 | 40 | — | 26—42 | — | — | 3±0,5 | 0,25 | 0,15 | 220 |
| | ЭГ-13 | 10—11 | 40 | — | 26—42 | — | — | 3±0,5 | 0,25 | 0,15 | 220 |
| | ЭГ-13п | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| ЭГ-14 | 10—11 | 40 | 200—400 | 26—38 | 40—60 | — | 2,5±0,5 | 0,25 | 0,15 | 220 | |
| ЭГ-83 | 9 | 45 | 175—220 | 35—65 | 15—32 | — | 2,5±0,5 | 0,25 | — | — | |

Продолжение табл. 12

| Группа штеков | Марка | Номинальная плотность тока в A/cm^2 | Максимальная окружная скорость в m/sec | Удельная нагрузка в $Г/с.м^2$ | Удельное электросопротивление в $О.М. м.м^2/м$ | Твердость | | Переходное падение напряжения на пару штеков при номинальном токе в $15 м/сек$ | Коэффициент трения при $v = 15 м/сек$ | Износ за 50 час. работы при $v = 15 м/сек$ | Удельная нагрузка при измерении износа в $Г/с.м^2$ |
|-------------------|-------|---------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------|------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| | | | | | | по отскоку | по Бринелю | | | | |
| Медно-графитовые | М-1 | 15 | 25 | 150—200 | 2—6 | 26—38 | — | $1,5 \pm 0,5$ | 0,25 | 0,13 | 200 |
| | М-3 | 12 | 20 | 150—200 | 7—12 | 30—40 | — | $1,8 \pm 0,4$ | 0,25 | 0,15 | 200 |
| | М-6 | 15 | 25 | 150—200 | 2—6 | 26—35 | — | $1,5 \pm 0,5$ | 0,20 | 0,15 | 200 |
| | М-20 | 12 | 20 | 150—200 | 5—13 | 24—36 | — | $1,4 \pm 0,4$ | 0,26 | 0,20 | 200 |
| | МГ | 20 | 20 | 180—230 | 0,05—0,15 | — | 6—18 | $0,2 \pm 0,1$ | 0,20 | 0,80 | 175 |
| | МГ-2 | 20 | 20 | 180—230 | 0,15—0,35 | — | 6—14 | $0,5 \pm 0,2$ | 0,20 | 0,40 | 175 |
| | МГ-4 | 15 | 20 | 200—250 | 0,3—1,3 | 22—32 | — | $1,1 \pm 0,5$ | 0,20 | 0,30 | 200 |
| МГ-6 | 18 | 20 | 200—250 | 0,3—1,3 | 18—30 | — | $1 \pm 0,4$ | 0,20 | 0,50 | 200 | |
| Металлографитовые | МГС | 20 | 20 | — | 0,1—0,3 | — | 6—20 | 0,4 | 0,25 | 0,25 | 175 |
| | МГС-5 | 15 | 35 | — | 2—15 | — | — | 2 | 0,25 | 0,50 | 200 |
| | МГС-6 | 15 | 25 | — | 3—14 | — | — | 2 | 0,25 | 0,25 | 200 |
| Бронзографитовые | БГ | 20 | 20 | 170—220 | 0,5—0,9 | — | 8—16 | $0,3 \pm 0,1$ | 0,25 | 0,25 | 175 |

Компактные металлокерамические изделия. Компактные металлокерамические изделия изготавливаются из порошков железа, стали, меди, бронзы и других металлов. Остаточная пористость этих деталей не превышает 3—5%. Они получают сразу необходимой формы и размеров и механической обработки не требуют (в отдельных случаях применяется лишь шлифование).

В табл. 13 приводятся характеристики свойств некоторых компактных металлокерамических материалов.

Методами порошковой металлургии изготавливают подавляющее большинство изделий из тугоплавких металлов — вольфрама, молибдена, тантала и других.

В табл. 14 приведены характеристики свойств этих металлов.

Таблица 13

Свойства компактных металлокерамических материалов [1]

| Наименование материала | Удельный вес в $Г/с.м^3$ | Твердость НВ | $\sigma_{в сж}$ | $\sigma_{0,2}$ | $\delta\%$ | Модуль упругости E в $кг/м.м^2$ |
|-----------------------------|--------------------------|--------------|-----------------|----------------|------------|-----------------------------------|
| Спеченное железо из окислы | 7,6—7,8 | 75—80 | 20—30 | 10—12 | 13—14 | 9 000—11 000 |
| То же, карбонильное | 7,8—8,0 | 75—80 | 30—35 | 12—15 | 18—20 | 11 000—12 000 |
| Спеченная нержавеющая сталь | 6,8—7,2 | 165—175 | 40—42 | 38—40 | 18—20 | 12 000—14 000 |
| Спеченная бронза | 7,8—8,0 | 62—75 | 25—27 | 18—20 | 4—12 | |
| Титан | 4,5 | 250—320 | 75—88 | 65—73 | 4*, 28** | 10 800—11 300 |

* Наклепанный. ** Отожженный.

Характеристика свойств некоторых тугоплавких металлов [1], [2], [3]

Таблица 14

| Свойства металла | W | Mo | Ta |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|----------------|
| Удельный вес в $г/см^3$ | 19—19,3 | 10—10,3 | 16,6 |
| Температура плавления в $^{\circ}C$ | 3400 ± 50 | 2630 ± 50 | 2900 ± 100 |
| Предел прочности при растяжении в $кг/мм^2$ | 110—200 | 35—120 | 90—120 |
| Относительное удлинение (для проволоки) в % | 1—4 | 2—5 | 2—10 |
| Твердость H_B | 200—400 | 200—255 | 80—200 |
| Коэффициент линейного расширения при $25^{\circ}C$ | $4,4 \cdot 10^{-6}$ | $5,2 \cdot 10^{-6}$ | — |
| Теплопроводность при $20^{\circ}C$ в $кал/см \times сек \cdot град$ | 0,4 | 0,35 | 0,32 |
| Удельное электросопротивление при $20^{\circ}C$ в $ом \cdot мм^2/м$ | 0,055 | 0,048 | — |

МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ

Таблица 15

Состав металлокерамических твердых сплавов по ГОСТ 3882-53

Металлокерамические твердые сплавы состоят из одного или нескольких карбидов тугоплавких металлов и связующего металла железной группы, чаще всего кобальта. Металлокерамические твердые сплавы применяются в качестве инструментальных материалов в металлообработке, бурении и ряде других отраслей техники.

Выпускаются два типа металлокерамических твердых сплавов — вольфрамовые и титановольфрамовые.

В табл. 15 и 16 приведен химический состав и свойства твердых сплавов, в табл. 17 — основные области их применения.

| Марка сплава | Приближенный состав сплавов по структурному составляющим в % | | |
|--------------|--------------------------------------------------------------|-----|----|
| | WC | TiC | Co |
| BK2 | 98 | — | 2 |
| BK3 | 97 | — | 3 |
| BK6 | 94 | — | 6 |
| BK8 | 92 | — | 8 |
| BK10 | 90 | — | 10 |
| BK11 | 89 | — | 11 |
| BK15 | 85 | — | 15 |
| T5K10 | 85 | 6 | 9 |
| T14K8 | 78 | 14 | 8 |
| T15K6 | 79 | 15 | 6 |
| T30K4 | 66 | 30 | 4 |
| T60K6 | 34 | 0 | 6 |

Таблица 16

Физико-механические свойства металлокерамических твердых сплавов

| Марка сплава | Предел прочности при изгибе в $кг/мм^2$ | Удельный вес в $г/см^3$ | Твердость R_A | Температура красной точки в $^{\circ}C$ | Теплопроводность в $кал \cdot см \cdot сек \cdot град$ | Электросопротивление в $ом \cdot мм^2/м$ |
|-----------------|-----------------------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| по ГОСТ 3882-53 | | | | | | |
| BK2 | 100 | 15—15,4 | 90 | — | — | — |
| BK3 | 100 | 14,9—15,3 | 89,0 | 1100—1150 | 0,169 | 0,198 |
| BK6 | 120 | 14,5—15 | 88,0 | 1050—1100 | 0,145 | 0,206 |
| BK8 | 130 | 14,4—14,8 | 87,5 | 950—1000 | 0,141 | 0,207 |
| BK10 | 135 | 14,2—14,6 | 87,0 | 900—950 | — | — |
| BK11 | 150 | 14—14,4 | 86,0 | — | — | — |
| BK15 | 160 | 13,0—11,1 | 86,0 | 850—900 | 0,168 | 0,188 |
| T5K10 | 115 | 12,3—13,2 | 88,5 | 1100—1150 | — | — |
| T14K8 | 115 | 11,2—1? | 89,5 | — | — | — |
| T15K6 | 110 | 11—11,7 | 90,0 | 1200 | 0,095 | 0,399 |
| T30K4 | 90 | 9,5—9,8 | 92,0 | 1200 | — | — |
| T60K6 | 75 | 6,5—7 | 90,0 | — | — | — |

Таблица 17

Применение некоторых марок металлoкeрaмичeских твердых сплавов

| Марка сплава | Общая характеристика | Основные области применения |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ВК3 | Очень высокие износостойкость и твердость при малой вязкости | Обработка неметаллических материалов (стекла; угля; камня, пластмасс и др.) |
| ВК6 | Средние вязкость и износостойкость | Полуобдирочное и чистовое точение, фрезерование и развертывание чугуна и цветных металлов |
| ВК8 | Высокие вязкость и прочность, хорошее сопротивление ударам и вибрации | Обдирочное точение, фрезерование, сверление и другие виды грубой обработки чугуна и цветных металлов |
| ВК10 ВК15 | Высокие вязкость и износостойкость | Волочение прутков и труб из стали и цветных металлов (сплав ВК15 применяют также для перфораторного бурения) |
| Т5К10 | Высокая вязкость, хорошее сопротивление ударам и вибрации | Обдирочное точение и другие виды грубой обработки стали |
| Т15К6 | Менее вязкий, чем сплав Т5К10, но более устойчивый | Полуобдирочное и чистовое точение, скоростное точение и фрезерование стали, нарезание резьбы и развертывание отверстий |
| Т30К4 | Очень высокие износостойкость и твердость | Скоростные точение и растачивание стали со снятием стружки малых сечений |

НАПЛАВОЧНЫЕ ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ

Наплавочные твердые сплавы применяются для увеличения износостойкости различных деталей машин путем их наплавки на эти детали с помощью вольтовой дуги или газового пламени.

Наплавочные твердые сплавы подразделяются на стеллиты, стеллитоподобные, зернообразные и электродные.

Стеллиты представляют собой литые сплавы кобальта, хрома, вольфрама и углерода.

Стеллитобразные по своей структуре и свойствам близки к стеллитам. Это также литые сплавы, но на основе хрома, железа и никеля.

Зернообразные сплавы представляют собой шихту, состоящую из

смеси вольфрама и углерода (вокар) или смеси различных ферросплавов. В процессе наплавки этих сплавов в наплавляемом слое образуется сплав, содержащий твердые карбиды вольфрама, железа, хрома, марганца.

Электродные сплавы представляют собой отрезки электродной проволоки, обмазанные шихтой различных составов (см. табл. 20), которые расплавляются в процессе их наплавки и образуют сплав карбидного типа.

В табл. 18 приведены основные области применения наплавочных твердых сплавов.

В табл. 19 приведен химический состав сплавов, а в табл. 21—22 — их свойства.

Таблица 18

Основные области применения наплавочных твердых сплавов [4]

| Наименование сплава | Основные области применения | Наименование сплава | Основные области применения |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Стеллиты | Детали, подвергающиеся механическому износу в условиях коррозионного воздействия | Зернообразные сплавы | Наплавка деталей, испытывающих грубый износ (шнеки, лопатки экскаваторов, шнеки дробилок, зубья экскаваторов и др.) |
| Стеллитоподобные | Матрицы, штампы, пуансоны, ножи для обработки металлов | Электродные сплавы | Крестовины железнодорожных путей, лопатки экскаваторов, шнеки дробилок, камеры мельниц и др. |

Таблица 19

Химический состав литых и зернообразных наплавочных сплавов [4]

| Сплав | Химический состав в % | | | | | | | | |
|---------------------|-----------------------|-------|---------|----------------|-------|-------|---------|---------|----------------|
| | W | Co | Ni | Fe | Cr | Mn | C | Si | При- меси * |
| Стеллит ВК2 | 13—17 | 47—53 | До 2 | До 2 | 27—33 | 1 | 1,8—2,5 | 1—2 | 1—1,5 |
| Стеллит ВК3 | 4—5 | 58—62 | До 2 | До 2 | 28—32 | — | 1—1,5 | 2,5 | 1—1,5 |
| Сормайт № 1 | — | — | 3—5 | Осталь- ное | 25—31 | 1,5 | 1,5—3,3 | 2,8—4,2 | 1—1,5 |
| Сормайт № 2 | — | — | 1,3—2,2 | То же | 13—17 | 1,0 | 1,5—2 | 1,5—2,2 | 1—1,5 |
| Сталинит | — | — | — | " | 16—20 | 13—17 | 8—10 | До 3 | 1—1,5 |
| Вокар | 85—87 | — | — | До 2 | — | — | 9—10 | До 3 | 1—1,5 |

* Сумма P + S + Al и других элементов.

Таблица 20

Состав обмазки для электродов в % [4]

| Обмазка | Феррохром | Ферромарганец | Ферротитан | Сталинит | Карбид бора | Графит | Мел | Плавленый шпат | Полевой шпат | Жидкое стекло в %, по отношению к обмазке |
|-------------------|-----------|---------------|------------|----------|-------------|--------|------|----------------|--------------|-------------------------------------------------|
| Хромистая | 70 | — | — | — | — | 15 | 15 | — | — | 5—8 |
| Марганцовистая | — | 75 | — | — | — | 15 | 10 | — | — | 5—8 |
| Сталининовая . . | — | — | — | 72 | — | — | 12 | 10 | 6 | 5—8 |
| T-590 | 90 | — | — | — | 5 | 5 | — | — | — | — |
| T-540 | 36,5 | — | 40,0 | — | — | 8,5 | 15,0 | — | — | — |
| T-600 | 72,0 | — | 14,0 | — | — | 14,0 | — | — | — | — |

Таблица 21

Физико-механические свойства литых наплавочных твердых сплавов [4]

| Сплав | Свойства сплава | | | | Свойства однослойной наплавки | | |
|-------------|-----------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| | Твердость H _B | Удельный вес в Г/см ³ | Темпера- тура пла- вления в °С | Относи- тельный износ | Предел прочности при рас- тяжении в кг/мм ² | Твердость H _B | Относи- тельный износ * |
| Стеллит ВК2 | 46—48 | — | 1260 | 0,65—0,7 | 60—70 | 46—70 | 0,4—0,6 |
| Стеллит ВК3 | 42—43 | 8—55 | 1275 | 0,6—0,65 | 60—70 | 41—43 | 0,5—0,55 |
| Сормайт № 1 | 49—54 | 7,4 | 1275 | 0,55—0,7 | 35,0 | 49—50 | 0,61—0,65 |
| Сормайт № 2 | 40—45 | 7,6 | 1300 | 0,3—0,7 | 39—43 | 39—43 | 0,65—0,7 |

* По отношению к износу марганцовистой износостойкой стали марки Г12, принятому равным 1.

Таблица 22

Физико-механические свойства слоев, наплавленных зернообразными и электродными сплавами (в один слой) [4]

| Сплав | Твердость R_A | Относительный износ * | Красностойкость в °C |
|-------------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------|
| Вокар | 61—63 | 0,17—0,18 | 1000—1900 |
| Сталинит | 56—57 | 0,57—0,6 | 800—850 |
| Электроды с износостойкой обмазкой: | | | |
| Хромистые | 55—58 | 0,8—0,9 | 850—900 |
| Марганцовистые | 52—56 | 0,95—1 | 700—750 |
| Сталинистые | 54—56 | 0,58—0,62 | 750—800 |

* По отношению к износу марганцовистой износостойкой стали марки Г12, принятому равным 1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. К. А б л о в, К. М. Н а р д о в, В. С. Р а к о в с к и й, Справочник по металлокерамическим материалам, Оборонгиз, 1952.
2. М. Ю. Б а л ь ш и н, Порошковая металлургия, Машгиз, 1948.
3. В. С. Р а к о в с к и й и В. В. С а к л и н с к и й, Металлокерамика в машиностроении, Машгиз, 1956.
4. В. С. Р а к о в с к и й, И. И. К р ю к о в, Наплавочные твердые сплавы, Машгиз, 1948.

НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

ДРЕВЕСИНА

Свойства древесины

Механические свойства. Механические свойства древесины не одинаковы в разных направлениях волокон и зависят от различных факторов (влажности, температуры, объемного веса и др.). При механических испытаниях древесины учитывают ее влажность и результаты испытаний пересчитывают на 15% влажность по формуле (справедлива в пределах от 8 до 20% влажности)

$$D_{15} = D_w [1 + a(W - 15)],$$

где D_{15} — величина показателя механических свойств древесины при влажности 15%; D_w — то же при влажности в момент испытания; W — влажность образца в момент испытания в %; a — поправочный коэффициент на влажность.

При сжатии вдоль волокон: сосны, кедра, лиственницы, бука, ясеня, ильма и березы $a = 0,05$; ели, пихты сибирской, дуба и прочих лиственных пород $a = 0,04$; при растяжении вдоль волокон лиственных пород $a = 0,015$ (для древесины хвойных пород a не учитывается); при статическом изгибе (поперечном — тангентальном) всех пород $a = 0,04$; при скалывании вдоль волокон независимо от пород и вида скалывания $a = 0,05$.

В табл. 1—4 приведены физико-механические свойства некоторых пород древесины.

С увеличением влажности от нуля до точки насыщения волокон показатели механических свойств древесины уменьшаются. При увеличении влажности на 1% предел прочности при сжатии вдоль волокон уменьшается на 4—5% в зависимости от породы; при скалывании вдоль волокон — на 5% и при статическом изгибе — на 4%.

Влияние увеличения влажности на предел прочности при растяжении вдоль волокон и на модуль упругости очень мало, а на сопротивление ударному изгибу не учитывается.

В пределах от точки насыщения волокон и выше изменение влажности не влияет на механические свойства древесины.

С возрастанием температуры прочностные и упругие свойства древесины понижаются. Предел прочности при сжатии вдоль волокон при температуре $+80^\circ\text{C}$ составляет около 75%; при растяжении вдоль волокон ~80%; при скалывании вдоль волокон (тангентальная плоскость) ~50% и сопротивление ударному изгибу ~90% величин соответствующих показателей при нормальной температуре ($+20^\circ\text{C}$). При повышении температуры до $+180^\circ\text{C}$ прочностные характеристики еще больше падают. Пределы прочности при сжатии и скалывании вдоль волокон в этом случае составляют около 40% величин соответствующих показателей при 20° .

С понижением температуры прочностные характеристики древесины возрастают. При температуре -60° пределы прочности при скалывании, растяжении и сжатии вдоль волокон и сопротивление ударному изгибу составляют около 115, 120, 145 и 200% величин соответствующих показателей при температуре 20°C .

Упругие характеристики прочности с увеличением температуры понижаются. Так, например, показатели модулей упругости при растяжении и сжатии вдоль волокон при температуре $+60^\circ$ составляют, соответственно, около 83 и 84%, при температуре $+200^\circ$ ~ 76% (снижение одинаковое для модуля упругости при растяжении и сжатии) и при температуре $+140^\circ$ около 73 и 68% величин соответствующих показателей при 20° .

Таблица 2
Расчетные величины механических свойств древесины, принимаемые при проектировании ответственных (нагруженных) деталей

| Породы | Районы произрастания | Объемный вес в $\Gamma/\text{см}^3$ | Предел прочности в $\text{кг}/\text{см}^2$ | | | | | Модуль упругости при растяжении и сжатии волокон в $\text{кг}/\text{см}^2$ | Модуль сдвига при кручении в $\text{кг}/\text{см}^2$ | Предел пропорциональности в $\text{кг}/\text{см}^2$ | | |
|------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------|------------------------|
| | | | Сжатие вдоль волокон | Растяжение вдоль волокон | Статический поперечный изгиб | Скалывание вдоль волокон | Кручение | | | Сжатие вдоль волокон | Растяжение вдоль волокон | Сжатие поперек волокон |
| Сосна | СССР | 0,52 | 350 | 830 | 650 | 50 | 80 | 110 000 | 5500 | 310 | 610 | 35 |
| Ель обыкновенная | Европейская часть СССР | 0,47 | 320 | 750 | 600 | 50 | 80 | 110 000 | 5500 | 270 | 560 | 30 |
| Пихта кавказская | Кавказ | 0,44 | 340 | 720 | 580 | 50 | 75 | 100 000 | 5000 | 290 | 490 | 35 |
| Лиственница сибирская | Свердловская область, Восточная Сибирь | 0,68 | 420 | 930 | 750 | 70 | 100 | 120 000 | 6000 | 330 | 670 | 40 |
| Береза черная и желтая | ДВК | 0,73 | 450 | 1200 | 850 | 80 | 130 | 100 000 | 6500 | 340 | 900 | 65 |
| Липа | Европейская часть СССР | 0,48 | 270 | 600 | 470 | 50 | 75 | 90 000 | 4500 | 200 | 450 | 40 |
| Дуб | То же | 0,7 | 400 | 1000 | 740 | 70 | 100 | 100 000 | 6500 | 290 | 740 | 60 |
| Ясень обыкновенный | " | 0,71 | 400 | 1100 | 820 | 85 | 120 | 120 000 | 6500 | 270 | 740 | 80 |
| Бук | Кавказ | 0,65 | 390 | 930 | 730 | 75 | 120 | 100 000 | 6500 | 290 | 700 | 60 |

Таблица 3
Показатели модулей упругости, модулей сдвига и модулей кручения некоторых пород древесины СССР при 15% влажности (ориентировочные данные по ГОСТ 4631-49)

| Порода | Модуль упругости в тыс. $\text{кг}/\text{см}^2$ | | | | | | Модуль сдвига при скалывании вдоль волокон в тыс. $\text{кг}/\text{см}^2$ в плоскости | | Модуль кручения в тыс. $\text{кг}/\text{см}^2$ |
|-----------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------|-----|----------------|-------------------------------|-----|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------------------------------------------|
| | При сжатии | | | При растяжении | | | радиальной | тангентальной | |
| | вдоль волокон | поперек волокон в направлении | | вдоль волокон | поперек волокон в направлении | | | | |
| Береза | 158 | 6 | 4,5 | 181 | 6 | 4,2 | 5,1 | 5,1 | 10,1 |
| Дуб | 140 | 12,9 | 9,1 | 140 | 11 | 8,3 | 4,3 | 4,8 | 8,6 |
| Ель | 142 | 5,9 | 3,6 | 148 | 6,2 | 4,2 | — | — | — |
| Лиственница | 140 | — | — | 145 | — | — | — | — | 7,3 |
| Пихта кавказская | 125 | — | — | 125 | — | — | — | — | 5,7 |
| Сосна | 117 | 6,2 | 5 | 117 | 5,1 | 4,3 | 4,3 | 3,7 | 6,6 |
| Ясень европейский | 150 | 9,7 | — | 140 | — | — | — | 6 | 8,7 |
| Ясень манчжурский | 124 | — | — | 156 | — | — | — | — | — |

Таблица 4
Средние значения коэффициентов поперечной деформации древесины при влажности 10—15% (ориентировочные данные)

| Порода | Коэффициенты поперечной деформации | | | | | |
|------------------|------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | μ_{ra} | μ_{ta} | μ_{ar} | μ_{tr} | μ_{at} | μ_{rt} |
| Бук | 0,03 | 0,02 | 0,41 | 0,36 | 0,33 | 0,73 |
| Береза | 0,043 | 0,04 | 0,58 | 0,49 | 0,41 | 0,81 |
| Дуб | 0,07 | 0,09 | 0,43 | 0,34 | 0,45 | 0,83 |
| Ель | 0,017 | 0,031 | 0,44 | 0,25 | 0,411 | 0,48 |
| Сосна | 0,03 | 0,037 | 0,49 | 0,38 | 0,41 | 0,79 |
| Ясень | 0,043 | 0,043 | 0,43 | 0,6 | 0,26 | 0,74 |

Примечание. Первый индекс означает направление силы, второй — направление деформации, перпендикулярной к силе. Ось a — направление вдоль волокон, ось r — радиальное направление и ось t — тангентальное направление.

Физические свойства. Объемный вес древесины зависит от ее породы, ширины годичного слоя, процента

соответствующий 15% влажности, определяют по формуле

$$\gamma_{15} = \gamma_w [1 + 0,01 (1 - K_0) (15 - W)],$$

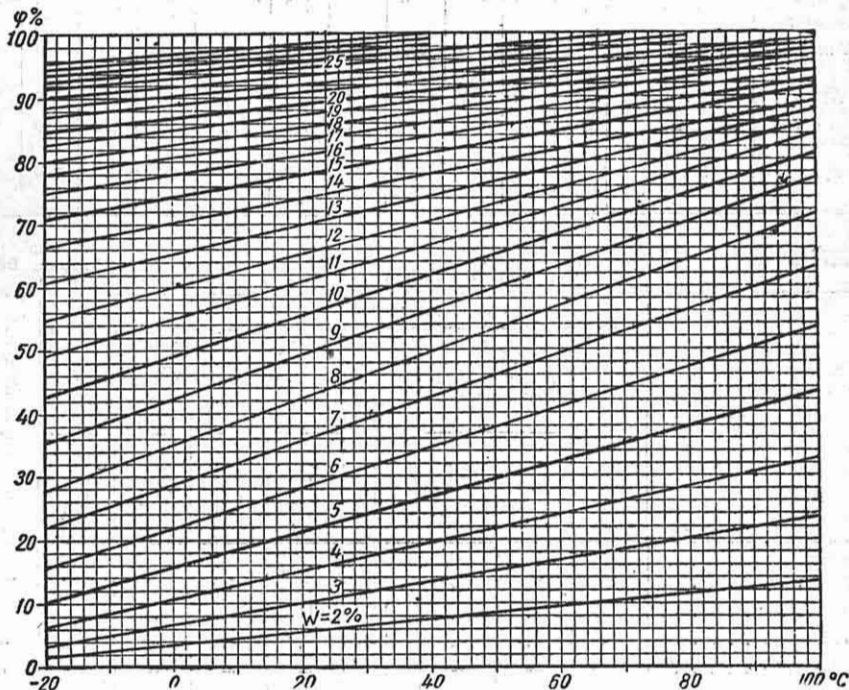
где γ_w — объемный вес при W % влажности (в пределах от 8 до 20%); K_0 — коэффициент объемной усушки, равный для лиственницы, бука и березы 0,6 и для древесины других пород 0,5.

Объемный вес некоторых пород древесины см. табл. 1.

Влагопоглощаемость (гигроскопичность) W — свойство древесины поглощать влагу из окружающего воздуха — в процентах вычисляется по формуле

$$W = \frac{G_2 - G_1}{G_1 - G} 100,$$

где G — вес пустой бьюксы в Γ ; G_1 — вес бьюксы с образцом после высушивания в Γ ; G_2 — вес бьюксы с образцом, соответствующий каждому последующему взвешиванию, в Γ .



Фиг. 1. Диаграмма для определения равновесной влажности древесины W , находящейся в помещении с температурой t и относительной влажностью φ (по Н. Н. Чулицкому).

летней древесины, место произрастания, возраста дерева и др. и определяется по ГОСТ 6336-52. Объемный вес γ_{15}

Для определения равновесной влажности можно пользоваться диаграммой фиг. 1.

Водопоглощаемость — свойство древесины поглощать воду при погружении в нее — зависит от породы, анатомического и химического строения древесины, части ствола (ядро, заболонь), первоначальной влажности, температуры и других факторов. Поглощение воды происходит главным образом через торцевую поверхность древесины и незначительно через радиальную и тангентальную. Свойством впитывать влагу пользуются при пропитке древесины антисептиками и антипиренами.

Влажность древесины выражается в процентах от веса абсолютно сухой древесины и определяется по ГОСТ 6336-52. Основную массу воды, находящуюся в древесине, составляет вода капиллярная (заполняющая полости клеток) и имбибиционная (заключенная в оболочках клеток между мицеллами). Состояние, при котором испарилась вся капиллярная вода и начала испаряться имбибиционная, называется моментом насыщения древесного волокна, а соответствующая этому состоянию влажность — точкой насыщения волокна. Влажность древесины при насыщении волокон составляет от 23 (ясень) до 30% (лиственница, бук).

Абсолютная влажность (W) определяется с точностью 0,1% по формуле

$$W_A = \frac{G_1 - G_2}{G_2 - G} 100\%,$$

где G — вес пустой бьюксы в G ; G_1 — вес бьюксы с образцом до высушивания в G ; G_2 — вес бьюксы с образцом после высушивания в G .

Разбухаемость и усушка — свойство древесины при увлажнении или высыхании изменять свои размеры. Изменение размеров древесины как анизотропного материала различно в трех направлениях и в среднем составляет: вдоль волокон 0,1%, поперек волокон в радиальном направлении 3—5%, в тангентальном 6—10%.

Максимальное увеличение размеров достигается при точке насыщения волокон, т. е. по достижении влажности 23—30%.

Изменение линейных размеров при высыхании определяется по формулам:

$$U_m = \frac{a - a_1}{a_1} 100; \quad U_p = \frac{b - b_1}{b_1} 100,$$

где U_m и U_p — линейная усушка соответственно в тангентальном и радиальном направлениях в %; a и b — размеры

образца в тангентальном и радиальном направлениях до высушивания; a_1 и b_1 — размеры образца в тех же направлениях после высушивания.

Изменение размеров вычисляется с точностью до 0,1%.

Коэффициент линейной усушки на 1% изменения влажности определяется по формулам:

$$K_m = \frac{Y_m}{W}; \quad K_p = \frac{Y_p}{W},$$

где W — влажность образца в %.

При влажности образца выше 30% в знаменателе формул влажность W приравнивается 30%, коэффициент усушки в этом случае будет приближенным.

Изменение линейных размеров при разбухании определяется по формулам:

$$P_m = \frac{a_1 - a}{a} 100; \quad P_p = \frac{b_1 - b}{b} 100,$$

где P_m и P_p — линейные разбухания соответственно в тангентальном и радиальном направлениях в %; a и b — размеры образца в тангентальном и радиальном направлениях после высушивания; a_1 и b_1 — размеры образца в тех же направлениях после увлажнения.

Вычисление величин изменения линейных размеров при разбухании производится с точностью до 0,1% (ГОСТ 6336-52).

Зависимости изменений линейных размеров деталей (ΔB) из массивной, неклееной, клееной и фанерованной древесины при изменении влажности на 1% при разбухании и усушке от их номинальных размеров поперек волокон.

а) Сосна

| | |
|--------------------------------------------|--------------------------------------|
| Неклееные | $\Delta B_0^C = 0,00263 B^*$ |
| Клееные в один ряд | $\Delta B_1^C = 0,0026 B$ |
| Клееные в два ряда | $\Delta B_2^C = 0,00252 B$ |
| Клееные в три ряда | $\Delta B_3^C = 0,00224 B$ |
| Фанерованные клееной фанерой: | |
| Толщиной 1,5 мм трех- слойная | $\Delta B_\varphi = 0,0055 B^{0,75}$ |
| Толщиной 3,0 мм трех- слойная | $\Delta B_\varphi = 0,0055 B^{0,77}$ |
| Толщиной 3,0 мм пяти- слойная | $\Delta B_\varphi = 0,0055 B^{0,78}$ |

* B — номинальный размер в мм.

б) Сосна, ель и пихта

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Фанерованная строганной фанерой: | |
| Вдоль волокон основы | |
| (сосна) | $\Delta B_{\varphi} = 0,0055 B^{0,86}$ |
| То же для ели и пихты | $\Delta B_{\varphi} = 0,0055 B^{0,84}$ |
| Поперек волокон основы | |
| (сосна) | $\Delta B_{\varphi} = 0,0055 B^{0,73}$ |
| Строганной фанерой вдоль волокон и березовым шпоном поперек волокон основы — двухслойное фанерование (сосна, ель и пихта) | $\Delta B_{\varphi} = 0,0055 B^{0,70}$ |

в) Ель

| | |
|---------------------|---------------------------|
| Неклееные | $\Delta B_0^e = 0,0023 B$ |
|---------------------|---------------------------|

г) Дуб, пихта, береза

| | |
|---------------------|------------------------------------------------------------|
| Неклееные | $\Delta B_0^d = \Delta B_0^n = \Delta B_0^{br} = 0,0025 B$ |
|---------------------|------------------------------------------------------------|

д) Бук

| | |
|---------------------|---------------------------|
| Неклееные | $\Delta B_0^b = 0,0033 B$ |
|---------------------|---------------------------|

е) Лиственница

| | |
|---------------------|---------------------------|
| Неклееные | $\Delta B_0^l = 0,0029 B$ |
|---------------------|---------------------------|

и) Липа

| | |
|---------------------|------------------------------|
| Неклееные | $\Delta B_0^{lp} = 0,0024 B$ |
|---------------------|------------------------------|

Изменение размеров вдоль волокон на 1% изменения влажности деталей из клееной и неклееной древесины сосны

$$\Delta L_{cp} = 0,00018L;$$

из фанерованной древесины

$$\Delta L_{\varphi} = 0,00012L,$$

где L — номинальный размер по длине вдоль волокон в мм.

Изменение формы поперечного сечения деталей из неклееной древесины при изменении влажности на 1% сосны, ели, дуба, бука, пихты, лиственницы, ясеня, березы и липы

$$\Delta B^n = 0,0015B.$$

Изменение формы поперечного сечения деталей из клееной и фанерованной древесины ввиду очень малых значений практически не учитывается.

Теплопроводность древесины зависит от объемного веса и влажности древесины и неодинакова в разных направлениях, так, например, коэффициент теплопроводности при 20°С вдоль волокон равен для сосны и пихты 0,0003, для дуба 0,00058, а поперек волокон для сосны и пихты 0,0001 кал/см × сек°С.

Коэффициент линейного расширения вдоль волокон ели и липы равен $5,4 \cdot 10^{-6}$, пихты $3,7 \cdot 10^{-6}$,

а поперек волокон ели $34,1 \cdot 10^{-6}$, липы $44,4 \cdot 10^{-6}$ и пихты $58,4 \cdot 10^{-6}$.

Звукпроводность — скорость распространения звука — зависит от породы древесины и направления волокон: вдоль волокон она равна у сосны 5030, дуба 4175, ясеня 3900 и бука — 3412 м/сек. В радиальном направлении у сосны 1450 и дуба 1665, а в тангентальном — у сосны 850 и у дуба 1400 м/сек.

Звукпроницаемость — отношение потока звуковой энергии, прошедшей через перегородку, к энергии, упавшей на перегородку, для древесины при толщине перегородки 2,4 см равна 0,63, для бетона при толщине перегородки 2,5 см равна 0,11, а для пробковой плиты при толщине перегородки 2 см равна 0,74.

Электропроводность древесины характеризуется удельным объемным электросопротивлением и зависит от породы древесины, влажности, температуры и направления волокон.

Вдоль волокон при 8%-ной влажности электросопротивление равно: для лиственницы — $3,8 \cdot 10^{10}$, для березы $4,2 \cdot 10^{11}$; в радиальном направлении для лиственницы $19,0 \cdot 10^{10}$, для березы $8,6 \cdot 10^{10}$, а в тангентальном для лиственницы $14,5 \cdot 10^{10}$ ом. см.

С увеличением влажности или температуры древесины удельное объемное сопротивление уменьшается.

Электрическая прочность характеризуется пробивным напряжением в вольтах на 1 см толщины древесины. Она зависит от тех же факторов, что и электропроводность, и равна: для березы влажностью 8,2% вдоль волокна 15,2, поперек волокна 59,8, а для дуба влажностью 9,3% вдоль волокна 47, поперек волокна 39,1 кв/см. Для повышения изоляционных свойств древесины ее пропитывают парафином, трансформаторным маслом и др.

Древесные материалы

Клееная фанера — листовый слоистый древесный материал, состоящий из трех или более листов лушеного шпона, склеенных между собой при взаимно перпендикулярном расположении волокон.

Показатели прочности и упругости клееной фанеры зависят от направления волокон.

В зависимости от вида применяемого клея фанера разделяется на клееную искусственными смолами и клееную белковыми клеями.

Таблица 6

Физико-механические свойства клееной фанеры

| Клей | Толщина фанеры в мм | Число слоев | Объемный вес в г/см ³ | Предел прочности в кг/см ² | | | | | | Модуль упругости при растяжении в тыс. кг/см ² | | |
|------------------------------|---------------------|-------------|----------------------------------|---------------------------------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
| | | | | при растяжении | | | при сдвиге | | | поперек волокон | | |
| | | | | вдоль волокон | под углом 45° | поперек волокон | вдоль волокон | под углом 45° | поперек волокон | вдоль волокон | под углом 45° | поперек волокон |
| <i>Березовая фанера</i> | | | | | | | | | | | | |
| Бакелитовый | 1 | 3 | 0,85 | 1135 | 440 | 690 | 335 | 745 | 445 | 135 | 41,4 | 66,8 |
| | 1,5 | 3 | 0,85 | 1160 | 440 | 735 | 335 | 745 | 445 | 135 | 41,4 | 66,8 |
| | 2,5 | 3 | 0,81 | 1090 | 350 | 655 | 220 | 615 | 275 | 140,8 | 33,8 | 74,1 |
| | 3 | 3 | 0,8 | 1180 | 350 | 725 | 220 | 615 | 275 | 140,8 | 33,8 | 74,1 |
| | 4 | 3 | 0,8 | 1035 | 280 | 610 | 220 | 530 | 260 | 137,4 | 27,8 | 73,2 |
| | 1,5 | 5 | 0,77 | 1025 | 335 | 590 | 220 | 530 | 260 | 137,4 | 27,8 | 73,2 |
| | 2 | 5 | — | 1075 | 335 | 590 | 220 | 530 | 260 | 137,4 | 27,8 | 73,2 |
| | 3 | 5 | — | 1045 | 510 | 655 | 280 | 440 | 475 | 140,6 | 47,6 | 92,9 |
| | 5 | 5 | 0,79 | 960 | 395 | 790 | 220 | 505 | 320 | 127,2 | 30,3 | 86,4 |
| | 8 | 7 | 0,78 | 985 | 365 | 690 | 220 | 465 | 250 | 129,7 | 28,8 | 90 |
| 10 | 9 | 0,78 | 910 | — | 690 | 220 | 465 | 250 | 136,7 | 31,2 | 90,8 | |
| Альбуминовый | 1 | 3 | — | 815 | — | 705 | 230 | 295 | 250 | 116 | 30,7 | 100,6 |
| | 1,5 | 3 | — | 955 | 265 | 490 | 200 | 510 | 385 | 133,7 | 29,9 | 69,9 |
| | 2,5 | 3 | — | 1030 | 245 | 685 | 150 | 430 | 235 | 134,9 | 26 | 64,1 |
| | 3 | 3 | — | 1105 | 245 | 650 | 150 | 430 | 235 | 134,9 | 26 | 64,1 |
| | 4 | 3 | 0,67 | 1210 | 260 | 710 | 130 | 395 | 180 | 135,8 | 24,1 | 68,9 |
| | 5 | 3 | — | 1089 | 220 | 600 | 160 | 425 | 190 | 141,9 | 23,6 | 71 |
| | 5 | 3 | — | 1005 | 290 | 565 | — | — | — | 144,8 | 23 | 66,7 |
| | 8 | 5 | 0,68 | 930 | — | 675 | — | — | — | — | — | — |
| | 5 | 5 | 0,69 | 755 | — | 635 | — | — | — | — | — | — |
| | 8 | 7 | — | 745 | — | 620 | — | — | — | — | — | — |
| 10 | 9 | 0,69 | 630 | — | 565 | — | — | — | — | — | — | |
| 10 | 9 | — | 765 | — | 550 | — | — | — | — | — | — | |
| 12 | 9 | — | 580 | — | 550 | — | — | — | — | — | — | |
| 25—30 | 11—21 | 0,7 | 790 | — | 675 | — | — | — | — | — | — | — |
| <i>Ольховая фанера</i> | | | | | | | | | | | | |
| То же (клеяка сырая горячая) | 1,5 | 3 | 0,58 | 670 | — | 385 | — | — | — | — | — | — |
| | 3,0 | 3 | 0,58 | 660 | 200 | 375 | — | — | — | 99,1 | 24 | 48,6 |
| | 3,0 | 3 | 0,58 | 670 | — | 410 | — | — | — | — | — | — |

То же (клеяка сырая горячая)
 То же (клеяка сухая холодная)
 То же (клеяка сухая холодная)

Примечание. По ГОСТ 3916-55 предел прочности при скалывании по склею должен быть не менее: для березовой фанеры 5—12 кг/см²; для ольховой, буковой, липовой и др. 4—10 кг/см² и для основной 3—6 кг/см² в зависимости от клеевых материалов и методов приемочных испытаний (кляпачение, вымачивание или в сухом виде).

Фанера изготавливается из березы, ольхи, бука и других пород: для внутренних слоев применяются береза, ольха, ель, пихта, кедр, осина и липа.

Толщина листов фанеры установлена 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 9; 10 и 12 мм. Фанера толщиной 9, 10 и 12 мм должна состоять не менее чем из пяти слоев шпона.

Физико-механические свойства клееной фанеры приведены в табл. 5.

Расчетные величины механических свойств клееной березовой фанеры марки БС-1 (на бакелитовой смоле) и БП-1 (на бакелитовой пленке) по нормам ГУ 129СО-43 приведены в табл. 6. Приемочные нормы на готовую березовую фанеру марок БС-1, БП-1 и БПС-1 в соответствии с ГОСТ 102-49 приведены в табл. 7.

Таблица 7

Приемочные нормы на фанеру БС-1 БП-1 и БПС-1

| Толщина фанеры в мм | Предел прочности при растяжении вдоль волокон рубашек в $кг/см^2$ не менее | | Предел прочности при скалывании по клеевому слою всех сортов в $кг/см^2$ не менее | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| | 1-й сорт | 2-й сорт | В сухом состоянии | После кипячения в течение часа |
| 1 | 800 | 675 | — | 20' |
| 1,5—4 | 800 | 675 | 22 | 18 |
| 5 | 750 | 650 | 25 | 16 |
| 6 | 700 | 600 | 25 | 16 |
| 8—12 | 650 | 500 | 27 | 16 |

Предел прочности при скалывании по клею клееной фанеры марки ФСВ после кипячения в течение часа или вымачивания в воде в течение 24 час. и фанеры марки ФБ в сухом состоянии должен быть равен не менее $10 кг/см^2$.

Испытания фанеры производятся по методам, установленным ГОСТ 1143-41 в соответствии с нормами, приведенными в ГОСТ 102-49 и 3916-55.

Пластифицированная древесина (лигностон) изготавливается путем прессования брусков березы или бука при давлении $200—250 кг/см^2$ и температуре $150—170^\circ C$.

Физико-механические свойства лигностона

| | |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Удельный вес в $г/см^3$ | 1,2—1, |
| Предел прочности в $кг/см^2$: | |
| при сжатии вдоль волокон | 1300—1800 |
| при изгибе | 2000—2800 |
| при скалывании | 150 |
| Твердость H_B вдоль волокон в $кг/мм^2$ | 15—25 |
| Свободное водопоглощение за 24 часа в % | 7—9 |
| Предельное водопоглощение в % | 32 |
| Свободное разбухание в направлении, обратном прессованию, за 24 часа в % | 6—10 |
| Предельное разбухание в % | 30 |

Из лигностона изготавливаются подшипники и другие детали машин, работающие на трение.

ПЛАСТМАССЫ

Пластические массы — материалы, преимущественно органического происхождения, изготавливаемые на основе высокополимерных органических и кремний-органических соединений в сочетании с органическими и минеральными наполнителями (или без них).

В процессе прессования или литья пластинки под воздействием повышенных температур и давления способны переходить в вязкотекучее состояние или деформироваться и принимать конфигурацию изделия, а затвердевая сохранять приданную форму.

Изделия из некоторых пластиков способны практически неограниченно (термопласты), а другие ограниченно (например, терморезактивные слоистые пластики) под воздействием температуры и давления деформироваться и принимать новую форму.

В зависимости от природы применяемой смолы, пластмассы можно условно подразделить на терморезактивные (термонеобратимые) и термопластичные (термообратимые). Как первые, так и вторые могут быть композиционными и блочными (литыми).

Композиционные порошкообразные и волокнистые пластмассы изготавливаются преимущественно на основе терморезактивных смол и наполнителей: древесной муки, слюды, кварца и волокон растительного и минерального происхождения. Они применяются главным образом для изготовления сравнительно небольших деталей методом горячего прессования.

Композиционные слоистые пластики состоят из смолы и слоистого наполнителя: хлопчатобумажной, асбестовой и стеклянной ткани, бумаги, древесного

Свойства композиционных порошко

| № по пор. | Наименование материалов | Стандарт или технические условия | Удельный вес | Теплостойкость по Мартенсу в °С | Теплопроводность в ккал/м час °С |
|-----------|-------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------|---------------------------------|----------------------------------|
| | | | | | |
| 1 | K-15-2, K-17-2, K-18-2, K-19-2, K-20-2, K-110-2 | ГОСТ 5689-51 | 1,4 | 110 | 0,18—0,2 |
| 2 | K-21-22 | ГОСТ 5689-51 | 1,4 | 100 | 0,18—0,2 |
| 3 | K-220-21 | ВТУ ГХПК № П-81-53 | 1,4 | 100 | — |
| 4 | K-18-22 | ТУ НКХП 1387-46 | 1,5—1,75 | 120 | — |
| 5 | K-18-53 | ТУ МХП 2475-51 | 1,75 | 145 | — |
| 6 | K-211-3 и K-211-4 | ТУ НКХП 1386-47 | 1,8—1,9 | 150 и 140 | — |
| 7 | K-211-34 | ВТУ МХП 2339-54 | 1,95 | 150 | — |
| 8 | K-214-42 | ТУ 3862-53 | 1,75—1,95 | 145 | — |
| 9 | K-114-35 (В12-Н60) | ТУ МХП 3462-52 | 1,75—1,9 | 118 и 115 | — |
| 10 | Монолит ФФ | ГОСТ 5689-51 | 1,3—1,5 | 110 | 0,18—0,2 |
| 11 | K-17-36 (фенолит-2) | ВТУ МХП М227-53 | 1,6 | 110 | — |
| 12 | ФКП-1 | ВТУ ГХП М218-53 | 1,4 | 110 | — |
| 13 | Аминопласты | ТУ НКХП 328-48 | 1,45—1,55 | 90 и 100 | 0,21—0,27 |
| 14 | K-77-51 | ТУ МХП 3883-53 | ≤ 1,8 | 135 | — |
| 15 | Волокнит | ТУ НКХП 459-41 | 1,35—1,45 | 110 | 0,18—0,2 |
| 16 | K-6-Б и К-6 (высоковольтный) | ТУ НКХП 334-41 и ТУ МХП 412-52 | 1,85—1,95 | 200 | 0,45 |
| 17 | K-41-5 (МФХ41-1А) | ВТУ МХП 4386-55 | 1,9 | >250 | — |
| 18 | Текстолитовая крошка | ТУ ЗП 1040-43 | 1,35—1,4 | 115 | 0,32 |
| 19 | Лигнофеновая крошка | — | 1,35—1,4 | 140—170 | — |
| 20 | КФ-3 | ТУ Главхимпласт 37-41 | 1,7—1,85 | 200 | 0,45—0,5 |
| 21 | Фаялит | ТУ НКХП 322-41 и 323-41 | 1,4—1,8 | 100 | — |

| № по пор. | Наименование материалов | Стойкость к горячей воде после 1 часа кипячения | Удельное электро-сопротивление | | Тангенс угла диэлектрических потерь | Диэлектрическая проницаемость |
|-----------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| | | | поверхностное в Ом | объемное в Ом·см | | |
| 1 | K-15-2, K-17-2, K-18-2, K-19-2, K-20-2, K-110-2 | Не дает заметных на глаз вздутий и трещин | 10 ⁹ | 10 ⁹ | 0,5—0,8 | 10—30 |
| 2 | K-21-22 | То же | 10 ¹⁰ | 5·10 ¹² | ≤ 0,09 | 7,5—9,6 |
| 3 | K-220-21 | — | 10 ¹¹ | 5·10 ¹² | ≤ 0,09 | — |
| 4 | K-18-22 | — | 10 ¹¹ | — | — | — |
| 5 | K-218-53 | — | 10 ⁹ | 10 ¹⁰ | — | — |
| 6 | K-211-3 и K-211-4 | — | 10 ¹⁴ и 10 ¹³ | 10 ¹⁴ и 10 ¹³ | 0,01 и 0,02 | 7 и 6 |
| 7 | K-211-34 | Не дает вздутий | 10 ¹⁴ | 10 ¹⁴ | ≤ 0,01 | — |
| 8 | K-214-42 | — | 10 ¹² | 10 ¹¹ | — | — |
| 9 | K-114-35 (В12-Н60) | — | 10 ¹⁴ и 5·10 ¹³ | 10 ¹⁴ и 5·10 ¹³ | 0,01 и 0,012 | 4,8 и 5 |
| 10 | Монолит ФФ | — | 2·10 ¹⁰ | 2·10 ¹⁰ | — | — |
| 11 | K-17-36 (фенолит-2) | — | — | — | — | — |
| 12 | ФКП-1 | — | 10 ¹⁰ | 10 ¹⁰ | — | — |
| 13 | Аминопласты | Недостаточно стойки | 10 ¹⁰ | 10 ¹¹ | 0,1—0,03 | — |
| 14 | K-77-51 | — | — | — | — | — |
| 15 | Волокнит | — | 10 ⁷ | 10 ⁷ | 0,9 | — |
| 16 | K-6-Б и К-6 (высоковольтный) | — | 10 ⁷ | 10 ⁸ | 0,3 | — |
| 17 | K-41-5 (МФХ41-1А) | — | 10 ⁹ | 10 ¹⁰ | 0,11 | 4,9 |
| 18 | Текстолитовая крошка | — | — | — | — | — |
| 19 | Лигнофеновая крошка | — | 2·10 ⁹ | 2,4·10 ¹¹ | — | — |
| 20 | КФ-3 | — | — | — | — | — |
| 21 | Фаялит | — | — | — | — | — |

Таблица 8

образных и волокнистых пластмасс

| Теплоемкость в ккал °С | Коэффициент линейного термического расширения $\alpha \cdot 10^6$ | Поглощаемость за 24 часа в % привеса образца | | | Водопогло- щаемость в Г/дм ³ |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------|-------|-----------------------------------------------|
| | | Вода | Бензин | Масло | |
| 0,32—0,33 | 5—5,3 | 0,3 | 0,05 | 0,03 | <0,12 |
| 0,35—0,36 | 4,8—5,3 | 0,25 | 0,05 | 0,03 | <0,1 |
| — | — | 0,25 | 0,03 | 0,05 | 0,1 |
| — | — | 0,04 | — | — | — |
| — | — | — | — | — | 0,032 |
| — | — | 0,06 и 0,08 | 0,01 и 0,08 | 0,018 | 0,1—0,2 |
| — | — | 0,05 | — | — | — |
| — | — | — | 0,05 | 0,03 | 0,07 |
| 0,38—0,33 | — | 0,015 | 0,08 | 0,01 | — |
| — | — | 0,35 | — | — | — |
| — | — | — | — | — | 0,06 |
| — | — | — | — | — | 0,14 |
| — | 4,5—5,3 | 1 | — | — | — |
| — | — | 0,1 | 0,03 | 0,03 | <0,1 |
| 0,30—0,48 | 3—3,5 | 0,4 | — | — | — |
| — | 2,5 | 0,8 | — | — | — |
| — | — | 1 | — | — | 0,25 |
| — | 3,3—3,4 | 0,015—0,95 | — | — | — |
| — | — | 0,5—1,5 | — | 0,01 | — |
| — | 2,5—2,8 | 1 | — | 0,1 | — |
| — | — | 0,3—0,5 | — | — | — |

Продолжение табл. 8

| Средняя пробив- ная напряжен- ность электрического поля в кВ/м | Предел прочности в кг/см ² при | | | Удлинение при разрыве в % | Удельная ударная вязкость в кгсм/см ² | Твердость Н _В в кг/мм ² | Модуль упругости при растя- жении в 10 ³ кг/см ² | Расчетная усадка в % |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------|-------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| | растяжении | сжатии | статиче- ском изгибе | | | | | |
| 10 | 350—325 | 1600 | 550 | 0,6—0,8 | 4 | 30 | 70—90 | 0,6—1 |
| 13 | 300 | 1500 | 600 | 0,6—0,8 | 4,2 | 30 | 70—90 | 0,6—1 |
| 13 | 300 | 1500 | 550 | — | 4,2 | 30 | 70—0 | 0,6—1 |
| 11 | — | — | — | — | 2,5 | 30 | — | — |
| 12 | — | — | 400 | — | 2,5 | — | — | 0,8 |
| 15 | — | — | 500 и 550 | — | 3 и 4 | — | — | 0,4—0,65 |
| 10 | — | — | 500 | — | 2,9 | — | — | — |
| 17 и 16 | 500 | 1850 | 900 и 875 | — | 3,5 | — | — | 0,6—1 |
| 7 | 300 | 1500 | 550 | — | 5 и 4,5 | 45 | — | 0,4—0,65 |
| — | — | — | 550 | — | 4,5 | 30 | 80—90 | 0, —, 0,1 |
| 10 | — | — | 500 | — | 4,2 | — | — | 0,6—1,1 |
| 8 | 300 | 1000 | 600 и 800 | 0,45 | 8 | — | — | 0,6—1 |
| 12 | — | — | 500 | — | 5 и 6 | 35 | 75—100 | 0,8—1 |
| 2 | 300 | 1200 | 500 | 0,4 | 4 | — | — | — |
| 0,7 и 1,1 | — | 1100 | 800 и 700 | 0,12 | 9 | 25 | 85 | 0,7 |
| — | — | — | — | — | 20 | — | 80—100 | 0,4 |
| 2 | — | — | 500 | — | 13 | — | — | <1 |
| — | 400 | 2000 | 750 | — | 20 | 30 | 60 | — |
| 14 | 550 | 1200 | 750 | — | 10 | 30 | — | — |
| — | — | 1000 | 700 | 0,18 | 21 | 30 | 160 | 0,3 |
| — | 200 | 400—900 | 400—700 | — | 2—2,5 | 25—35 | — | — |

Основной состав и области применения порошкообразных и волокнистых пластмасс

| №* | Основной состав | Область применения |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Новолачные или резольные (или их смеси) феноло-ксилено- и крезолоформальдегидные смолы и древесная мука с добавкой минеральных наполнителей, отверждающих веществ, красителей и смазки | Изделия технического и бытового назначения с невысокими диэлектрическими и механическими свойствами |
| 2 | Смесь феноло- и крезолоформальдегидных смол, древесная мука, пластификатор и краситель — мумия | Неагруженные детали с повышенными диэлектрическими свойствами |
| 3 | Крезолоформальдегидная смола, древесная мука, смазка, краситель | Для изделий, требующих высоких электроизоляционных свойств и повышенной водостойкости |
| 4 | Фенолформальдегидная смола, асбест, порошкообразная слюда, пластификатор, нигрозин, уротропин, известь венская | Изделия с повышенной теплостойкостью, твердостью и хрупкостью |
| 5 | Прессматериал на основе сочетания твердой фенолформальдегидной новолачной смолы № 18 с минеральным наполнителем с добавкой красителя, смазывающего и отверждающего вещества | Для горячего прессования изделий, к которым предъявляются требования повышенной теплотойкости и водостойкости и невысокие требования к ударной вязкости |
| 6 | Феноло-анилиноформальдегидная смола, кварцевая мука и слюда (для К-211-4 древесная мука), уротропин, стеарин, известь | Изделия радиотехнического назначения преимущественно для повышенной частоты тока |
| 7 | Резольная фенолоанилиновая и новолачная фенольная смолы с минеральным наполнителем | Детали радиотехнического назначения |
| 8 | Феноло-анилиноформальдегидная смола, древесная мука, окись магния, стеарат и мумия и бакелитовая мука | Детали, длительно работающие в сочетании с цветными металлами, стойкими против коррозии (от действия аммиака) |
| 9 | Композиция на основе синтетической смолы № 114 с минеральным наполнителем и добавкой отверждающего и смазывающего веществ | Детали с высокими электроизоляционными свойствами во влажной среде, работающие при высокой частоте тока и обладающие повышенными механическими свойствами |
| 10 | Новолачная смола, древесная мука, литопон, смазка, уротропин | Детали электрической, телефонной и радиоаппаратуры |
| 11 | Прессматериал на основе модифицированной полихлорвиниловой смолы, фенол-ксиленолформальдегидной смолы, минерального наполнителя и отверждающего вещества | Изделия с повышенной кислотостойкостью и водостойкостью (крышки и коробки аккумуляторных баков и другие кислотостойкие изделия сложной конфигурации) |
| 12 | Прессматериал на основе модифицированной синтетическим каучуком новолачной смолы, органического и минерального наполнителей, отверждающих и смазывающих веществ | Изделия с повышенными теплостойкостью, водостойкостью и сопротивлением пробивному напряжению |
| 13 | Мочевинформальдегидная смола, сульфитная целлюлоза, стеарат цинка, краситель | Детали корпусов приборов и осветительной аппаратуры, преимущественно с цветной окраской, от которых требуются высокие изоляционные свойства (не стойки в горячей воде) |
| 14 | Меламиноформальдегидная смола, слюда, линтер, стеарат цинка | Детали магнето поршневых двигателей и другие изделия с высокими диэлектрическими свойствами и повышенной дугостойкостью |
| 15 | Резольноэмульсионная смола, обезжиренный линтер, очасы хлопка, тальк, пластификатор и краситель | Детали с повышенной ударной вязкостью |
| 16 | Резольноэмульсионная смола, асбест, тальк | Детали с повышенной теплостойкостью (низко- и высоковольтные коллекторы) |
| 17 | Прессматериал, подобный К-6 на основе кремний-органической смолы и асбестового волокна | Для изделий с повышенной теплостойкостью, механической прочностью на удар и повышенным сопротивлением пробивному напряжению |
| 18 | Фенол- или крезолформальдегидная смола, ткань хлопчатобумажная. Текстолитовая крошка на основе бязи и нанки, пропитанная спиртовым раствором феноло- или крезолформальдегидной смолы | Детали с повышенными механическими и антифрикционными свойствами |
| 19 | Фенол- или крезолформальдегидная смола, древесный шпон | Детали несложной конфигурации, работающие при технической частоте тока |
| 20 | Фенолформальдегидная смола, трепаный асбест, каолин, металлические стружки для улучшения отвода тепла | Тормозные накладки для агрегатов, коэффициент сухого трения 0,33; износ 15 мг/час |
| 21 | Резольная смола, кислотостойкий асбест | Детали химического машино- и аппаратостроения, стойкие к кислотам и растворам солей |

* См. соответствующий номер в табл. 8.

шпона. Они применяются для изготовления изделий различных размеров (плит, труб, стержней и заготовок) путем прессования, а в ряде случаев методом механической обработки.

В производстве композиционных порошкообразных и волокнистых пластмасс применяются главным образом термопластичные (новолачные) смолы или их смеси с терморезактивными смолами, а в производстве слоистых пластиков — преимущественно терморезактивные (резольные), фенол — или крезолформальдегидные смолы и др., при нагревании переходящие в негладкое и практически нерастворимое (в органических растворителях) состояние. К терморезактивным относятся также карбомидные и некоторые виды полимеризационных смол.

Термопластичные материалы (на основе метилметакрилата, эфиров целлюлозы, виниловых эфиров, полистирола и др.), размягчающиеся под воздействием температуры, применяются для изготовления деталей методами прессования, как, например, органическое стекло, целлулоид, винипласт и др.

Основные свойства и области применения композиционных пластмасс

Физико-механические и диэлектрические свойства пластмасс. В табл. 8 и 8а приведены основные разновидности и свойства композиционных порошкообразных и волокнистых пластмасс, а в табл. 9 — слоистых пластмасс. К композиционным пластикам и смолам относятся также следующие материалы:

— Ткань хлопчатобумажная, пропитанная спиртовым раствором резольной фенолформальдегидной смолы (ТУХП 1040-43, ТУ МП-27-54 и ТУ АП-92-54), применяемая в виде полотен или крошки для изготовления деталей с повышенными механическими и антифрикционными свойствами (рольки управления, сепараторы подшипников качения и др.).

— Ткань стеклянная ТВФЭ-2 (ТУ МЭС — ЭП ОИИ503-052-54), пропитанная спиртовым раствором фенолформальдегидной смолы, модифицированной кремний-органическим продуктом. Исходная стеклянная ткань (из безщелочного состава стекла) — марки ЭСТБ толщиной 0,06—0,15 мм.

Стеклянная ткань ТВФЭ-2 применяется в виде крошки (или в комбина-

ции с полотном) для изготовления термостойких деталей электротехнического назначения (панели контакторов и т. п.). Из этой ткани также прессуют листовую стеклотекстолит марки СТВФЭ-2 (ТУ МЭС-ЭП-400-503-033-53) для клиньев электромоторов, работающих при повышенных температурах нагрева изоляции.

Текстолит марки МАгибкий прокладочный (ТУ М-415-53) толщиной от 0,3 до 2 мм на основе шифона или перкаля, пропитанного эмульсионным латексом МА-1 — полимера метилакрилата, применяется в качестве прокладочного материала для герметизации фланцевых соединений, работающих в среде воздуха, масла, бензина и керосина.

Текстолит для автотракторного оборудования (ВТУ Главхимпласт МХП 3833-53) толщиной 0,3 мм на основе шифона, пропитанного фенолформальдегидной смолой. Содержание смолы в ткани 47—51%.

Текстолит плиточный марки Б (ВТУ МХП 3167-52) для вкладышей подшипников прокатных станов на основе тяжелой ткани — бельтинга (ГОСТ 2924-45) и фенол- или крезолформальдегидной смолы, или их смеси с содержанием смолы 51—55%.

При механической обработке (распиловке, сверлении, фрезеровании, точении) текстолит различных марок не должен давать трещин и сколов. Текстолит толщиной до 2 мм без предварительной термообработки и толщиной от 2 до 3 мм с подогревом при 80—90°С должен допускать штамповку (просечку) без признаков расслоения и выкрашивания, если расстояние между краем отверстия не менее толщины листа.

Слоистый пластик марки ДЦ (ВТУ № М-246-52) в плитах и листах на основе ткани, изготовленной из древесной целлюлозы, или в комбинации этой ткани с хлопчатобумажной тканью, пропитанной смолой (содержание смолы 46—52%) резольного типа. По свойствам материал приближается к гетинаксу и применим при изготовлении деталей, не требующих повышенной ударной вязкости; в ряде случаев служит полноценным заменителем дорогостоящих текстолита и гетинакса.

Стеклотекстолит марки КАСТ толщиной 0,5; 0,8 и 1,2 мм (ВТУ МХП № 3843-53 и ТУ МХП 1512-49)

Основные свойства

| № по пор. | Наименование материалов | Стандарт или технические условия | Удельный вес | Теплостойкость по Мартенсу в °С |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------|---------------------------------|
| 1 | Текстолит подолочный ПТ-1, ПТ и ПТК (толщиной от 0,5 до 70 мм) | ГОСТ 5-52 | 1,3—1,4 | 120—125 |
| 2 | Листовой электротехнический текстолит А, Б, Г (толщиной от 0,5 до 50 мм) | ГОСТ 2910-54 | 1,3 | 135—125 |
| 3 | ВЧ (толщиной от 0,5 до 8 мм) | ГОСТ 2910-54 | 1,3 | 125 |
| 4 | Стеклотекстолит листовой электротехнический СТ (толщиной от 0,5 до 15 мм) | ГОСТ 2910-54 | 1,6 | 185 |
| 5 | Стеклотекстолит конструкционный: а) КАСТ (толщиной 1,2 мм) | ТУ МХП 1512-49 | 1,75—1,85 | 210 |
| 6 | б) КАСТ-В (толщиной 1,2 и 1,5 мм) | ТУ МХП 2182-54 | 1,75—1,85 | 250 |
| 7 | Стеклотекстолит мембранный СТМ-1 (толщиной 0,55—0,7 мм) | ВТУ МЭП 701-48 | 1,75—1,85 | 250 |
| 8 | Гетинакс электротехнический для нормальной частоты марки А и Б (толщина 0,5—50 мм); марки В, Г и Д (0,2—50 мм) | ГОСТ 2718-54 | 1,3—1,4 | 150 |
| 9 | То же для высокой частоты (толщиной от 0,4 до 6 мм марки А _в , Б _в , В _в , Г _в и Д _в) | ГОСТ 2718-54 | 1,3—1,4 | 150 |
| 10 | Асботекстолит марки А | ТУ МХП 2548-51 | 1,7 | 250 |
| 11 | Древеснослоистые пластики ДСПБ (толщиной 15—50 мм) | ГОСТ 5704-51 | 1,30 | 200 и 140 |
| 12 | Дельта-древесина: а) плиточная ДСП-10 сорта А (толщиной 16—18 мм) | ГОСТ 226-46 | 1,30—1,35 | 200 и 140 |
| 13 | б) листовая (толщиной 1—12 мм) | ТУ НКЛеса 75-44 | 1,3—1,4 | — |

| № по пор. | Наименование материалов | Диэлектрическая проницаемость при частоте тока 10 ⁶ гц | Среднее пробивное напряжение в кВ/мм | | Удельное внутреннее сопротивление (листы 8 мм и более) в Ом·см |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------|
| | | | Листы до 3 мм | Листы 8 мм и более | |
| 1 | Текстолит подолочный ПТ-1, ПТ и ПТК (толщиной от 0,5 до 70 мм) | — | — | — | — |
| 2 | Листовой электротехнический текстолит А, Б, Г (толщиной от 0,5 до 50 мм) | — | 8; 6,5; 4 | 6,5 и 4,5 | 10 ¹⁰ —10 ⁹ |
| 3 | ВЧ (толщиной от 0,5 до 8 мм) | 8 | 8; 6 и 5 | 6,5 | 10 ⁷ |
| 4 | Стеклотекстолит листовой электротехнический СТ (толщиной от 0,5 до 15 мм) | 8,5 | При толщине 2 мм — 12 | — | — |
| 5 | Стеклотекстолит конструкционный: а) КАСТ (толщиной 1,2 мм) | — | — | — | — |
| 6 | б) КАСТ-В (толщиной 1,2 и 1,5 мм) | 5,3 | 23 | — | — |
| 7 | Стеклотекстолит мембранный СТМ-1 (толщиной 0,55—0,7 мм) | — | — | — | — |
| 8 | Гетинакс электротехнический марки А и Б для нормальной частоты | — | — | — | 10 ¹⁰ |
| 9 | То же для высокой частоты (толщиной от 0,4 до 6 мм) марки А _в , Б _в , В _в , Г _в и Д _в | 7 | 33—25 | — | 10 ⁹ и 10 ⁷ |
| 10 | Асботекстолит марки А | — | — | — | — |
| 11 | Древеснослоистые пластики (ДСПБ) (толщиной 15—50 мм) | — | — | — | — |
| 12 | Дельта-древесина: а) плиточная ДСП-10 сорта А (толщиной 16—18 мм) | — | 20 | — | — |
| 13 | б) листовая (толщиной 1—12 мм) | — | 29—35 | — | — |

Примечание. Дополнительные показатели свойств см. в соответствующих ГОСТ и технических условиях.
* Соответственно в долевом и поперечном направлении плиты. ** Соответственно для коротких и длинных плит.

слоистых пластмасс

Таблица 9

| Теплопроводность в $\text{ккал}\cdot\text{м}\cdot\text{час}$ $^{\circ}\text{C}$ | Коэффициент линейного термического расширения $\alpha\cdot 10^6$ | Водопоглощаемость за 24 часа | | Удельное электросопротивление | | Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 50 гц |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| | | в % | в $\text{г}/\text{дм}^2$ | поверхностное в см | объемное в $\text{ом}\cdot\text{см}$ | |
| 0,20—0,29 | 3,3—4,0 | 0,8 | 0,65—0,35 | — | — | — |
| 0,20—0,29 | 3,3—4,0 | 0,5—1,5 | 0,3—0,6 | 10^{11} — 10^{10} | 10^8 | — |
| 0,20—0,29 | 3,3—4,0 | — | 0,28—0,55 | 10^{11} | 10^{10} | 0,07 |
| — | — | 0,6—1,0 | — | 10^{10} | 10^{11} | 0,012 |
| — | — | 3,0 | — | — | — | — |
| 0,244 | 0,8 | 0,8—1,5 | — | $2\cdot 10^{10}$ | $3\cdot 10^{10}$ | 0,18 |
| — | — | 0,6—1,0 | — | — | — | — |
| 0,20—0,29 | 2,0 | — | 0,5 | 10^{11} | 10^{11} | 0,1 и 0,07 |
| 0,20—0,29 | 2,0 | — | 0,5 и 0,6 | 10^{10} — 10^8 | 10^{10} | — |
| 0,35—0,45 | 2,0 | — | 0,45—0,50 | 10^9 — 10^{11} | 10^{10} — 10^{12} | 0,038—0,45 |
| 0,45—0,50 | 2,5—2,8 | 2,0 | — | — | — | — |
| 0,13—0,17 | 0,4 и 3,0 | — | — | — | — | — |
| 0,13—0,17 | 0,4—3,0 | 3,0 | — | 10^{12} | 10^{12} | 0,035 |
| — | 0,15—0,20 | 8,0—13,0 | — | 10^{12} | 10^{12} | 0,06—0,08 |

Продолжение табл. 9

| Предел прочности в $\text{кг}/\text{см}^2$ при | | | Удельная ударная вязкость в $\text{кг}\cdot\text{см}/\text{см}^2$ | Твердость H_B в $\text{кг}/\text{мм}^2$ | Модуль упру- гости при растяжении в $\text{кг}/\text{см}^2$ | Сопро- тивле- ние рас- кальва- нию в кг |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| растяжении | сжатии | статическом изгибе | | | | |
| 650, 850 и 1000 | ⊥ слоям 2000, 2300 и 2500 слоям: 1200, 1300 и 1500 | 1200, 1450 и 1600 | 25—35 | 33—35 | $(60 \div 100)\cdot 10^3$ | — |
| По основе 600—650 По утку 450—550 | ⊥ слоям 1500 | 900—1200 | 20—27 | 30 | — | 300 |
| По основе 500 По утку 400 | } — | — | — | 30 | — | — |
| 900 | — | 1100 | 50 | 30 | — | 130 |
| По основе 2300 По утку 1500 | — | — | По основе 45 По утку 35 | — | По основе $206\cdot 10^3$ По утку $123\cdot 10^3$ | — |
| По основе 2700 По утку 1550 | ⊥ слоям 3500 слоям 1100 | — | По основе 60 По утку 45 | 35—38 | По основе $220\cdot 10^3$ По утку $120\cdot 10^3$ | — |
| — | — | — | — | — | — | — |
| 800 и 700 1000 и 900 | 1680 1300 | 1000 и 800 1300—1400 | 13 20, 15 и 20 | 25 25 | — | 200 и 150 170, 200 и 180 |
| 800 800 | 1000 1000 | 1000 1000 | — 25 | — 30—40 | — | — |
| 2600 и 2200 ** | 1000 и 1550 ** | 2800 и 2500 ** | 80 и 70 ** | — | — | — |
| 3000 и 2700 * 1600 и 1850 ** | 1850 и 1750 ** | 3000 и 2850 ** | 120 и 80 ** | 18—23 | $(300 \div 320)\cdot 10^3$ $(180 \div 220)\cdot 10^3$ | — |

ских условиях.
длинных плит.

Свойства и область применения фибры

| Наименование | Стандарт или техни- ческие условия | Основные составные части | Удель- ный вес | Поглощаемость за 24 часа в % | | | Пределы прочности в кг/см ² при | | | Давление вязкости в кг/см ² | Твердость НВ в кг/см ² | Модуль упругости в кг/см ² | Удлинение в % не менее | Область применения |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------|--------|-------|-----------------------------------------------|-------------|------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| | | | | Вода | Бензин | Масло | растяже- нии | сжатии | изгибе | | | | | |
| Фибра «Флак»: вольфрамовый поперек листа | ГОСТ 3335-46 | Бюварная бумага, обработанная концентрированным раствором хлористого цинка | > 1,25 | 60—70 | 1,5 | 1,3 | 950—900 325—475 | 800 1400 | 950 750 | 100 80 | 10 ** | 70 000 60 000 | н/м 10 | Бензиновые баки и другие штампованные изделия |
| Фибра «Флак-Б»: вольфрамовый поперек листа | ТУ НКП и БП 38-44 | То же | ≥ 1,25 | 60—70 | 1,5 | 1,3 | 825—700 425—700 | — | — | 100 80 | 10 ** | 70 000 60 000 | То же | |
| Фибра ОФ: вольфрамовый поперек листа | ТУ НК Бумпрома 34-41 | " | 1,0—1,25 | 68 | — | — | 550—450 350—250 | 450 800 | 550 400 | 100 80 | 9,0 ** | — | Штампованные детали неотчетливого назначения | |
| Фибра КТФ (прокладочная) поперек листа | ТУ НК Бумпром 21 | Бумага, обработанная раствором хлористого цинка, касторовое масло и глицерин | 1,1—1,4 | — | — | — | 300 | — | — | — | — | — | Уплотнительные прокладки для воды, масла и бензина | |
| Фибра в прутках: вольфрамовый | ТУ НК Бумпром | Бумага, обработанная раствором хлористого цинка | 1,0—1,5 | 40 | — | — | 500—300 | — | — | — | — | — | Масло- и бензостойкие детали, обрабатываемые резанием | |

Примечания: 1. Удельное объемное ($\rho_{\text{об}}$) и поверхностное ($\rho_{\text{ср}}$) электросопротивление у фибры перечисленных марок равно 10^9 . Пробивная напряженность электрического поля равна 2—7 кВ/мм.

2. Прочность фибры «Флак» и «Флак-Б» по склейке после 24-часовой выдержки в воде равна 160 Г/см, а фибры «ОФ» — 180 Г/см.

3. Фибра с удельным весом ниже 1,20 не обеспечивает безобронинаемость и увеличивается бензо- и маслостойкостью.

4. Первое число относится к толщине фибры до 2 мм, а второе — выше 2 мм.

* Фибра толщиной 5 мм (ТУ 25—52) предназначается в качестве материала для самоконтращихся гаек.

** Для материала толщиной не менее 10 мм.

и марки КАСТ-В толщиной 0,5, 0,8 и 1 мм (ТУ МХП 2182-54).

Бакелит В-4К (ТУ НКХП 1065-43) — бакелитовая смола, смешанная с каолином, применяемая в качестве антикоррозионного покрытия при работе деталей в условиях горячей воды и масла, а также для пропитки пористого цветного литья.

Пулвербакелит (ГОСТ 3552-47) — измельченная новолачная фенолформальдегидная смола с отверждающим веществом — уротропином. Применяется в качестве связующего в производстве абразивных изделий. Выпускаются две марки (по степени измельчения) А и Б с температурой плавления 105—115° С.

Асфальто-пексовая масса (ТУ Главхимпласт МХП 26-45) — композиция из каменноугольного высокоплавкого пека и сплава асфальтита с нефтебитумом, содержащая органический и минеральный наполнители, применяемая преимущественно для изготовления аккумуляторных баков типа РНП для автотранспорта, кислотоупорных труб и т. п.

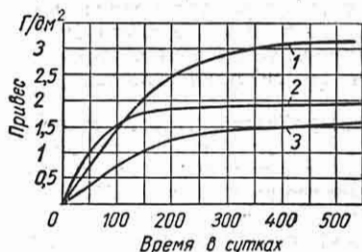
Фибра. Основные свойства и область применения фибры приведены ниже в табл. 10.

Электронизоляционные свойства. Пластические материалы, за исключением специальных композиционных пластиков — полистирола, тефлона и им подобных высокочастотных материалов, при длительной эксплуатации плохо переносят воздействие электрического поля высокой частоты, поэтому они применяются преимущественно как диэлектрики при частоте не более 50 гц. Величина электрической пробивной прочности пластических масс зависит от температуры, толщины материала и влажности.

С увеличением влажности и повышением температуры эксплуатации пробивное напряжение диэлектрика падает; тонкие более однородные по структуре листовые материалы выдерживают более высокое пробивное напряжение, чем более толстые менее однородные по структуре материалы. Низкой электрической прочностью отличаются диэлектрики с газовыми включениями и открытой пористостью.

Влаго- и водопоглощаемость. Поглощение влаги воздуха (влагопоглощаемость) и капельной влаги (водопоглощаемость) изменяет линейные размеры и свойства пластмасс. При непре-

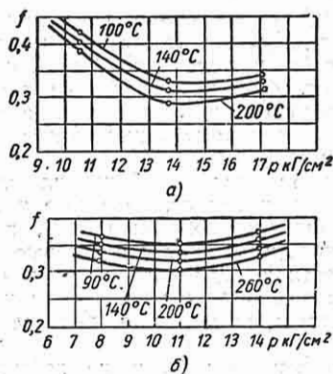
рывном пребывании пластических масс в воде водопоглощаемость увеличивается до предела насыщения (фиг. 2). Изменение влажности и линейных размеров древесных пластиков при влаго- и водопоглощении более резко выражено.



Фиг. 2. Привес в зависимости от времени пребывания в воде: 1 — К-18-2; 2 — текстолит; 3 — К-21-22.

Фрикционные и антифрикционные свойства. Пластические массы в зависимости от состава композиции и условий работы могут являться антифрикционными (например, текстолиты на основе хлопчатобумажных тканей, древесные пластики) или фрикционными материалами, например, пластики на основе асбестового наполнителя типа КФ-3 и др.

Зависимость коэффициента трения f тормозной накладки типа КФ-3 (в паре с чугуном) от удельного давления и температуры при разных скоростях скольжения приведена на фиг. 3.



Фиг. 3. а — при скорости скольжения 9 м/сек; б — то же при скорости 15 м/сек.

Оптические свойства. Прозрачность наиболее широко применяемой прозрачной пластической массы — органического стекла при толщине листов от 1 до 30 мм — практически одинакова, но

она уменьшается при эксплуатации в условиях абразивного воздействия частиц песка, пыли и тому подобных веществ. Ультрафиолетовые лучи практически не уменьшают прозрачности органического стекла.

Прозрачность целлулоида по мере увеличения толщины листа снижается. Целлулоид также теряет свою прозрачность от действия ультрафиолетовых лучей.

Жаростойкость. Пластические массы большей частью горят слабым быстро гаснущим пламенем. При их горении образуются горючие газы. Минеральный наполнитель и связующие на основе кремний-органических соединений повышают жаростойкость пластических масс.

Жаростойкость некоторых видов пластиков характеризуется следующими данными:

| Материал | Число горючести в см. м.г* |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Прессматериал на основе фенольной смолы и минерального наполнителя | 50 |
| Чистая фенольная смола | 150 |
| Прессматериал на основе фенольной смолы и древесной муки | 250 |
| Аминопласты | 500 |
| Текстолит | 2 000 |
| Целлулоид | 100 000 |

Щелочестойкость. Пластические массы с органическими наполнителями на основе фенольных и карбомидных смол не стойки против действия щелочей. Наличие в составе композиции асбестового наполнителя несколько повышает их щелочестойкость. После погружения в 1N раствор щелочи на 3 и 30 суток предел прочности при сжатии текстолита уменьшается соответственно на 5 и 9%, при растяжении гетинакса — на 38 и 43%.

К числу щелочестойких пластмасс относятся винипласт, битумные композиции (асфальтопечковая масса), хлорвиниловый пластикат и некоторые другие пластики. Щелочестойкость последнего уменьшается с увеличением количества содержащегося в нем пластификатора.

Разбавленные щелочи не действуют на органическое стекло при нормальной температуре: привес после пребывания стекла в течение 192 час. в 10%-ном растворе едкого натра при 25° С достигает всего лишь 0,8%.

* Произведение длины сгоревшей части в см на величину потери веса в м.г.

Кислотостойкость. Фенопласты но-волачного и резольного типа не стойки против действия концентрированной соляной и серной кислот и 10%-ной азотной кислоты.

Пластики на основе поливинилхлорида (винипласт, саран) и фенолформальдегидных смол в композиции с асбестовым наполнителем (фаолит и др.) устойчивы против продолжительного действия крепкой соляной и плавиковой кислот (в последнем случае в качестве наполнителей фаолита добавляют молотый кокс и сажу).

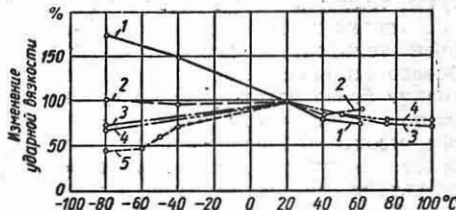
Гетинакс и текстолит выдерживают действие крепкой соляной, уксусной, фосфорной и слабой серной кислот. Органическое стекло выдерживает действие разбавленных серной, азотной, соляной и уксусной кислот. После пребывания органического стекла в кислоте в течение 192 час. привес в процентах выражается: в 30%-ной серной — 0,6, в 3%-ной серной — 1, в 10%-ной соляной — 0,7, в 10%-ной азотной — 0,9 и в 5%-ной уксусной — 1%.

Влияние различных факторов на механические свойства пластмасс

У ряда термопластов с понижением температуры временное сопротивление увеличивается, а удлинение уменьшается.

У термореактивных пластиков возрастание прочности (особенно при растяжении) с понижением температуры менее резко выражено, чем у термопластов. Предел усталости пластических масс при низких температурах меняется незначительно.

Изменение удельной ударной вязкости некоторых типов пластмасс в зависимости от температуры представлено на фиг. 4 и табл. 11.



Фиг. 4. Изменение удельной ударной вязкости пластических масс в зависимости от температуры испытания: 1 — ДСП-10; 2 — оргстекло; 3 — гетинакс; 4 — текстолит; 5 — целлулоид (удельная ударная вязкость при 20° С принята за 100%) (по А. Г. Третьякову).

Снижение прочности текстолита при повышенных температурах может быть

Таблица 11

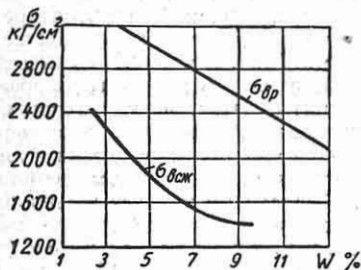
Зависимость механических свойств порошкообразных пластиков с органическим наполнителем от температуры и времени нагрева (по средним данным)

| Марка материала | Температура нагрева в °С | До термической обработки | | | | После нагревания в течение 115 час. | | | | После нагревания в течение 215 час. | | | |
|-----------------|--------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| | | Предел прочности при изгибе в кг/см ² | Удельная ударная вязкость в кг/см ² | Твердость НВ в кг/мм ² | Модуль упругости в кг/см ² | Предел прочности при изгибе в кг/см ² | Удельная ударная вязкость в кг/см ² | Твердость НВ в кг/мм ² | Модуль упругости в кг/см ² | Предел прочности при изгибе в кг/см ² | Удельная ударная вязкость в кг/см ² | Твердость НВ в кг/мм ² | Модуль упругости в кг/см ² |
| | | К-21-22 | 80 120 | 740 740 | 6,0 — | 35,0 — | 76 500 — | 730 900 | 5,75 7,50 | 31,0 22,0 | 158 750 — | 635 790 | 5,6 7,2 |
| К-18-2 | 80 120 | 650 — | 4,0 — | 36,0 — | 89 000 — | 670 960 | 4,8 7,5 | 34,8 42,0 | 83 000 — | 540 790 | 4,8 7,2 | 36,0 41,0 | 62 500 — |
| Монолит | 80 | 720 | 7,0 | 29,0 | 73 000 | 615 | 4,9 | 37,0 | 60 900 | 730 | — | 46,0 | 60 000 |
| Аминопласты | 80 | 1100 | 7,5 | 40,0 | 86 500 | 1075 | 8,2 | 47,7 | 84 500 | 800 | 5,0 | 52,0 | — |

уменьшено, если его подвергнуть предварительной термической обработке, например, старению при 150°С в течение 12 час.

Механические свойства пластиков большей частью также зависят от их влажности.

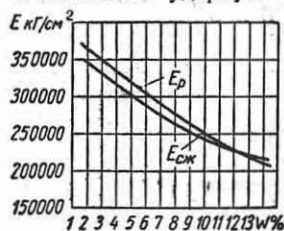
Влияние влажности W на предел прочности при сжатии и растяжении древлпластика ДСП-10 приведено на фиг. 5, а влияние влажности W на мо-



Фиг. 5.

дуль упругости при сжатии и растяжении — на фиг. 6. Эксплуатационная влажность древлпластика при торцевой защите водоупорной бакелитовой смолой составляет 5—6,5%.

Повышение влажности фибры на 1% (в интервале 2—14%) снижает предел прочности при растяжении в среднем на 4% и повышает ударную вязкость



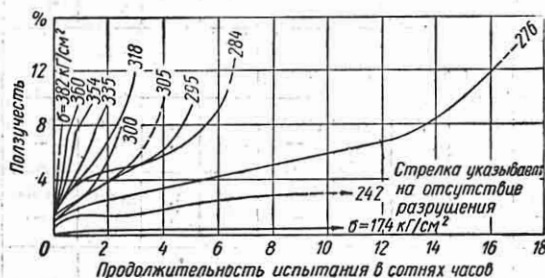
Фиг. 6.

на 10%. При дальнейшем повышении влажности ударная вязкость снижается и достигает минимума при 21% влажности, после чего практически остается неизменной. Предел прочности при растяжении фибры при влажности от 14 до 35% практически остается постоянным.

Пластические массы обладают повышенной ползучестью под влиянием постоянно действующих нагрузок; особенно резко она выражена у термопластов типа фторопласт, оргстекло и др. Ползучесть оргстекла толщиной 1,6 мм при различных напряжениях харак-

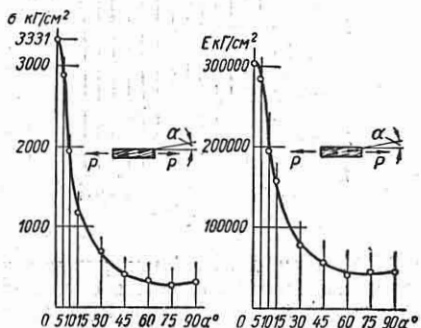
теризуется кривыми, приведенными на фиг. 7 (испытания производились при температуре 25°C и относительной влажности воздуха $50 \pm 5\%$). В наименьшей степени ползучесть проявляется у теклотекстолита на основе терморективной смолы.

С увеличением скорости нагружения при испытании на растяжение и сжатие наблюдается увеличение предела прочности пластических масс.



Фиг. 7.

На прочность пластических масс оказывают также влияние тип наполнителя и его расположение в материале. Предел прочности и модуль упругости слоистого древесного пластика в зависимости от угла направления волокон наполнителя, по отношению к направлению приложения нагрузки, показаны на фиг. 8 и 9



Фиг. 8. Предел прочности при растяжении ДСП-10 в зависимости от направления волокон по отношению к приложенной нагрузке.

Фиг. 9. Модуль упругости при растяжении ДСП-10 в зависимости от направления волокон по отношению к приложенной нагрузке.

Внутренние напряжения и надрезы могут существенно снизить прочность пластических масс. В оргстекле под влиянием внутренних напряжений могут образоваться микротре-

щины, так называемое «серебро». Наличие отверстий в оргстекле может понизить его прочность на $10-30\%$, а наличие надрезов — до 75% .

Основные свойства блочных (литых) смол и термопластов

В табл. 12 и 12а приведены основные свойства и область применения литых смол и пластмасс на основе некоторых термопластов.

Кроме указанных в табл. 12 материалов, к этой группе относятся также следующие.

Поливинилацетали (формвар, формекс, альвар, бутвар) — продукты реакции между поливиниловым спиртом и альдегидами соответственно: формальдегидом, ацетальдегидом и масляным альдегидом (поливинилбутираль). Эти пластики выпускаются в виде листов, пленок и композиций для литья и прессования. Пленки применяются в качестве

прослойки при изготовлении безосколочного стекла — триплекса, для покрытия тканей, в качестве клеящих веществ и т. п. В частности, бутвар в виде пленки применяется для склейки неорганического и органического триплекса и в качестве компонента универсального клея типа БФ; формекс, применяемый для изоляции электропроводов, обладает более высокой термической и химической стойкостью, чем некоторые обычные виды изоляции.

Полиэтилен (полиэтилен) — синтетическое высокополимерное соединение на основе этилена, получаемое полимеризацией этилена при давлении до 2000 ат и высокой температуре, — широко применяется в производстве высокочастотных и ультравысокочастотных кабелей, а также для антикоррозионной защиты металлов и изготовления мелких деталей бытового назначения.

Полиэтилен является термически и химически стойким, водостойким термопластом, обладающим исключительно хорошими диэлектрическими свойствами.

Политетрафторэтилен (тефлон) — фторопласт — 4 (ТУ М 162-54) — синтетическое высокополимерное соединение, исключительно кислото- и водостоек и обладает высокими диэлектрическими свойствами, особенно в условиях работы при высокой частоте тока. Тетрафторэтилен термически и химически более стоек, чем полиэтилен, морозо-

и термостоек, однако обладает значительной хладотекучестью. Менее хладотекуч фторопласт — 3 (ТУ М 518-54) — политрифтормоноклорэтилен.

Пленка упаковочная полихлорвиниловая марки В-118 (толщиной 0,19—0,27 мм) на основе пластифицированной, стабилизированной и пигментированной хлорвиниловой смолы, применяющейся в качестве упаковочного материала при консервации двигателей, различных агрегатов машиностроения и деталей.

Изделия из пластмасс

Заготовки текстолитовых втулок (ТУ МХП 2101-49) изготавливаются из пропитанной фенолформальдегидной смолой бязи путем горячей намотки и последующего прессования в прессформе. Внутренний диаметр и толщина стенки изготавливаются по чертежу заказчика, длина 350—400 мм. После последующей механической обработки они выпускаются в виде антифрикционных втулок для различных агрегатов.

Трубки текстолитовые прессованные (ТУ МЭП 106-49) на шифоне внутренним диаметром от 9,6 мм и наружным до 60 мм, длиной до 500 мм. Применяются для сепараторов подшипников.

Трубки текстолитовые намотанные (ТУ МЭП 105-49) на миткале и бязи (внутренним диаметром не менее 10 мм и толщиной стенки не менее 1 мм, длиной до 1 м) применяются для защиты проводов и трасс управления.

Трубки и цилиндры гетинаксовые (ВТУ МЭП 693-48) на основе сульфатной бумаги, пропитанной фенолформальдегидной смолой (трубки внутренним диаметром 9,5—24 мм, толщиной стенки от 0,5 до 1,5 мм, длиной до 500 мм и цилиндры: 34 — 80 × 0,5 — 3 × 500 мм), применяются в качестве каркасов для катушек в радиоаппаратуре и для защиты проводов.

Стержни текстолитовые (ГОСТ 5385-50) получают из миткаля или шифона прессованием в прессформах и предназначаются для изготовления деталей методом механической обработки.

Трубки полистироловые (ТУ МХП 1519-47) изготавливаются методом шинцевания из блочного поли-

стирола и предназначаются для изоляции проводов, а также для влагопоглотителей и тому подобных изделий.

Трубки и ленты из хлорвинилового пластика (ТУ МХП 1375-47) предназначаются для специальных кабельных проводов. Трубки изготавливаются внутренним диаметром от 1 до 40 мм, толщиной стенок от 0,3 до 2,0 мм, а ленты — шириной 15, 20 и 50 мм, толщиной от 0,5 до 1,0 мм, длиной не меньше 2 м.

Трубы, стержни и профили из винипласта (ТУ МХП N 451-54) применяются в качестве антикоррозионного, конструкционного и электроизоляционного материала.

Трубы выпускаются внутренним диаметром от 8 до 150 мм и наружным диаметром от 12 до 160 мм; стержни — диаметром от 2,8 до 58 мм; уголок — размером 30 × 30 мм. Длина труб, стержней и уголков — от 1,5 до 3 м. Рабочее давление труб в зависимости от толщины стенок допускается до 6 кг/см².

Пленка упаковочная полихлорвиниловая марки В-118, толщиной 0,19—0,27 мм (ТУ ХП 1797-48) применяется в качестве упаковочного материала для консервации двигателей, различных агрегатов и деталей.

Изделия из пластмасс для приборов зажигания и для работы под низким напряжением (ГОСТ 928-41 и ГОСТ 927-55) в автомобильных и тракторных двигателях.

На основе прессовочных материалов промышленности пластических масс выпускает методом непрерывного прессования профильные заготовки в виде труб, уголков, профилей коробчатого сечения и тому подобные изделия различной длины, которые подвергаются всем видам механической обработки и могут успешно применяться для изготовления в различных отраслях машиностроения конструкционных и декоративных деталей, например, деталей насосов, валков для пишущих машинок, дистанционных трубок, рукояток, деталей прядильных машин и т. п. Профильные заготовки служат заместителями цветных металлов, дорогостоящих пород древесины в вагоно- и автостроении и т. д. Физико-механические свойства профильных заготовок аналогичны свойствам исходных прессовочных материалов и в определенной степени зависят от конструкции профиля.

Свойства блочных (литых) смол и пластмасс на основе метилмета

| № по пор. | Наименование материалов | Стандарт или технические условия | Удельный вес |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | Неолейкорит | ТУ НКХП 621-41 | 1,3 |
| | Литые резины | ТУ НКХП 433-41 | 1,3 |
| 2 | Органическое стекло | ТУ МХП 1783-53 | 1,18 |
| 3 | То же (товарное) | ТУ ХП 26-46 | 1,18 |
| 4 | Целлулоид авиационный АВ-1 | ОСТ 10043-38 | 1,35—1,4 |
| 5 | Этилцеллюлоза | ТУ МХП 1958-50 | 1,07—1,18 |
| 6 | Подиметилметакрилатный порошок марок Л-1 и Л-2 | ТУ МХП 2968-50 | 1,18 |
| 7 | Этролы ацетицеллюлозные 2ДТ-43 и 2ДТ-55 | ТУ ХП 1310-47 | 1,4 |
| 8 | Этролы нитроцеллюлозные | ТУ ХП 392-49 | 1,4 |
| 9 | Винипроз — С | ВТУ 3399-52 | 1,35—1,40 |
| 10 | Пластикат полихлорвиниловый: а) прокладочный б) винипласт листовой в) трубки и стержни из винипласта | ТУ МХП 2024-49 3823-53 451-54 | 1,30—1,35 1,35—1,4 1,35—1,4 |
| 11 | Пенопласты ПХВ-1 | ВТУ МХП № 411-53 ТУ МХП 4332-54 | 0,17—0,22 0,09—0,13 |
| 12 | Поливинилиденхлорид | — | 1,65—1,75 |
| 13 | Фторопласт 4 | ТУ № М162-54 | — |
| 14 | Сополимер МС-3 | ВТУ МХП 2376-50 | 1,2 |
| 15 | Поливинилбутираль | — | 1,05—1,12 |
| 16 | Полистирол блочный (без наполнителя) марок Д и Т | ТУ МХП М241-54 | 1,05—1,07 |
| 17 | Полистирол эмульсионный (полуфабрикат) | ТУ МХП 2295-50 1827-49. | 1,05—1,08 |
| 18 | Пенопласты ПС-1, сорт А ПС-4, сорт А ФК-20 | ТУ МХП 3202-54 ВТУ МХП 3691-54 ВТУ МХП 652-55 | 0,1—0,2 0,05—0,08 0,19—0,23 |
| 19 | Полиамиды: Капрон Найлон | — — | 1,14 — |
| 20 | Полиэтилен | — | 0,92—0,93 |

* Теплоемкость большинства материалов находится в пределах 0,3—0,4 ккал/°С, кроме полихлор а у целлулоида — 0,5°/°.

** Соответственно для пластифицированного и непластифицированного оргстекла.

*** Соответственно для первого и второго сортов.

Таблица 12

крилата, эфиров целлюлозы, виниловых эфиров, полистирола и др.*

| Температура в °С по Мартену | Теплопроводность в ккал/мчас °С | Коэффициент линейного теплового расширения $\alpha \cdot 10^5$ | Водопоглощаемость за 24 часа в % привеса | Удельное электрическое сопротивление | |
|-----------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| | | | | поверхностное ρ_s в Ом | объемное ρ_v в Ом·см |
| 60 и 70 *** | — | — | 0,02 | — | — |
| — | — | — | — | — | — |
| 60 и 90 ** | 0,12—0,17 | 8,5—13,5 | 0,3 | — | 10^{12} |
| 58—72 | 0,12—0,17 | 8,5—13,5 | 0,3 | — | — |
| 40 | — | 10—14 | 1,25—2 | 10^{10} | 10^{11} — 10^{12} |
| 60—100 | — | 10—14 | 1—2 | — | 10^{12} — 10^{14} |
| 55 | — | 8,5—13,5 | 0,3 | — | — |
| 40—50 | 0,17 | 13 | <1 | — | 10^{12} |
| 40—45 | — | — | 2 | — | 10^{12} — 10^{14} |
| — | — | 8 | 1 | — | — |
| — | — | — | — | — | — |
| 75 | 0,13 | 8 | 0,01 | $1 \cdot 10^{10}$ | 10^{13} — 10^{15} |
| — | — | — | — | — | — |
| — | 0,045 | 7—8 | 0,25—0,3 | — | — |
| — | — | 7—8 | 0,30—0,35 | — | — |
| 70—93 | — | 19,0 | 0,1 | — | 10^{14} — 10^{16} |
| — | — | — | — | 10^{15} | $>10^{15}$ |
| 60 | — | — | 0,1 | — | — |
| — | — | 8,2 | 1,0—1,7 | — | 10^{14} |
| 80 | — | 6,8 | 0,005 | 10^{15} | 10^{16} — 10^{18} |
| 80 | — | 6,8 | 0,07 | 10^{14} — 10^{15} | 10^{14} — 10^{15} |
| — | 0,045 и 0,040 | — | $\leq 0,3$ кг/м ² | 10^{12} | 10^{13} |
| — | 0,035 | — | $\leq 0,3$ кг/м ² | 10^{12} | 10^{13} |
| — | — | — | $\leq 0,3$ кг/м ² | — | — |
| — | — | 10,0 | 1,5 | — | 10^{15} |
| — | — | 22—52 | До 0,01 | 10^{17} | 10^{17} |

винила, у которого теплоемкость равна 0,24 ккал/°С; маслостойкость за 24 часа у оргстекла равна 2,

| № по пор. | Наименование материалов | Тангенс угла диэлектрических потерь $\tan \delta$ при частоте тока | | Диэлектрическая проницаемость ϵ при частоте 10^6 гц | Пробивная напряженность электрического поля в кв/мм |
|-----------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| | | 50 гц | 10^6 гц | | |
| 1 | Неолейкорит | — | — | — | — |
| | Литые резиты | — | — | — | — |
| 2 | Органическое стекло | — | 0,02—0,06 | 3,2—3,6 | 18 |
| 3 | То же (товарное) | — | 0,025 | 5,9 при 50 гц | До 30 |
| 4 | Целлулоид авиационный АВ-1 | — | — | — | — |
| 5 | Этилцеллюлоза | 0,003—0,005 | 0,007—0,030 | 3—4 | 70—80 |
| 6 | Полиметилметакрилатный порошок марок Л-1 и Л-2 | — | 0,02—0,06 | 3,2—3,6 | 15—18 |
| 7 | Этролы ацетилцеллюлозные 2ДТ-43 и 2ДТ-55 | 0,015 | 0,035 | 5—7 | 62—80 |
| 8 | Этролы нитроцеллюлозные | 0,02 | — | 3,4—5 | 62—80 |
| 9 | Винипроз — С | — | — | — | — |
| 10 | Пластикат полихлорвиниловый: а) прокладочный | — | — | — | — |
| | б) винипласт листовой | 0,02 | — | 3,1—4 | 20—40 |
| | в) трубки и стержни из винипласта | — | — | — | — |
| 11 | Пенопласты ПХВ-1 | — | — | 1,8—2,4 1,8—2,4 | — |
| 12 | Поливинилиденхлорид | 0,03—0,08 | 0,03—0,05 | 3,5 | — |
| 13 | Фторопласт 4 | — | 0,00025 | 2,2 | — |
| 14 | Сополимер МС-3 | — | — | — | — |
| 15 | Поливинилбутираль | 0,07 | 0,0065 | 3,3—3,6 | — |
| 16 | Полистирол блочный (без наполнителя) марок Д и Т | 0,0001—0,008 | 0,00045 (для марки Д) | 2,6 | 20 |
| 17 | Полистирол эмульсионный (полуфабрикат) | — | 0,001—0,002 | 2,6—3,0 | — |
| 18 | Пенопласты ПС-1, сорт А | — | 0,0010 | 1,3 и 1,1 | 4—6 |
| | ПС-4, сорт А | — | 0,0012 | 1,4 | 4—5 |
| 19 | Полиамиды: Капрон | 0,018 | — | 3,3 | — |
| | Найлон | — | — | — | — |
| 20 | Полиэтилен | — | 0,0002—0,0004 | 2,2—2,3 | 45—60 |

*** Соответственно для первого и второго сортов.

**** С надрезом 3,3 кг/см².

***** Соответственно для толщины 1—3 мм. По ГОСТ 576-41 выпускается „Целлулоид технический

Продолжение табл. 12

| Предел прочности в кг/см^2 при: | | | Ударная вязкость в кгсм/см^2 | Твердость H_B в кг/мм^2 | Модуль упругости в 10^4 кг/см^2 |
|------------------------------------------|----------|--------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|
| растяжении | сжатии | статическом изгибе | | | |
| 500 и 600 *** | 600—1000 | 700—900 | 6 и 8 *** | 10 и 12 *** | 25—35 |
| — | — | — | — | 12 и 15 | — |
| 650 | 1100 | 950 | 12 **** | 18—24 | 28 |
| — | — | — | 8,5 | 7 | — |
| 300—500***** | — | — | 40 и 90 ***** | 6,0 | 14—22 |
| 140—630 | 560—1400 | 820—840 | — | 4,0—8,5 | 10—35 |
| — | — | — | — | 12 | — |
| 400 | 500 | 450—500 | 15—20 | 3,5—4,0 | 20—25 |
| — | — | 440—655 | 3,0—4,5 | 5,0 | — |
| 500 при удлинении 12% | — | — | — | 0,7 (по НИЛК) | — |
| 100 при удлинении 150% | — | — | — | — | — |
| 400—600 | 800—1000 | 1000—1200 | 120 | До 15 | 30—40 |
| — | — | — | — | — | — |
| 50 | 15 | — | 1,6 | — | 1,6 |
| 40 | 6 | — | 0,8 | — | 1,2 |
| 230—490 | 530—600 | 1050—1200 | — | — | 7—20 |
| — | — | — | — | — | — |
| — | — | 500 | 5 | 15 | — |
| 60—140 | — | — | — | — | 20—35 |
| 200—350 | 800—1050 | 800 и 850 | 15 и 18 | 20 | 12—33 |
| До 450 | 1000 | 600 | 10—15 | 20 | — |
| 30 и 14 | 30 и 8 | — | 1,4—0,8 | — | 1,7 и 0,6 |
| 9 | 4 | — | 1,7 | — | 0,35 |
| 800 | — | 700—1050 | — | — | 70,0—105,0 |
| > 60 при удлинении 250% | — | — | — | — | — |
| 120—160 | 125 | 120—160 | — | — | 1,5—2,5 |

прозрачный Т-1*.

| № по пор. | Основной состав | Область применения |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Фенолформальдегидная литая смола | Подолочный материал (блоки и стержни) для деталей, не несущих нагрузку |
| 2 | Полимер метилового эфира метакриловой кислоты | Остекление машин и приборов, газильные трубки на линии высоковольтных передач и т. п. |
| 3 | То же | Технические и декоративные изделия, изготавливаемые резанием |
| 4 | Пластифицированная камфорой нитроцеллюлоза | Для остекления приборов и других подобных целей |
| 5 | Простой этиловый эфир целлюлозы | Компонент для моделей прецизионного литья и литейной массы ТЛКЭ — полноценного заменителя свинца в производстве пуансонов к падающим молотам для штамповки листовых металлов |
| 6 | Продукт эмульсионной полимеризации эфира метакриловой кислоты с добавкой пластификатора в виде бисерных прозрачных шариков | Для изготовления преимущественно декоративных деталей методом пуансового прессования с охлаждением в прессформе |
| 7 | Композиции на основе ацетилцеллюлозы | Штурвалы, детали радиотелефонной и осветительной арматуры |
| 8 | Композиции на основе нитроцеллюлозы | Для аналогичных целей, что и ацетилцеллюлозный этрол |
| 9 | Сополимер непластифицированного хлорвинила с метилметакрилатом с добавкой стабилизатора в виде односторонне полированных листов: $0,25 \pm 0,45 \times 550 \times 1300$ мм | Для снятия копий с плазов и вычерчивания чертежей несмаываемой тушью |
| 10 | а) Пластифицированный, б) и в) — термически пластифицированный полихлорвинил | Герметизирующие, химически стойкие прокладки, облицовка гальванических и травильных ванн и для электроизоляционных изделий |
| 11 | Пенопласт на основе полихлорвинила | Легкий наполнитель в многослойных конструкциях и теплоизоляционный труднозатопляемый материал, с рабочей температурой $\pm 60^\circ \text{C}$ |
| 12 | Продукт полимеризации винилиденхлорида | Для изготовления термостойких и химически стойких деталей, покрытий и для искусственного волокна |
| 13 | Порошкообразный термопластичный продукт полимеризации мономера — производного фторэтилена | Для изготовления деталей, стойких к сильно агрессивным средам и обладающих высокими диэлектрическими свойствами |
| 14 | Сополимер метилметакрилата со стиролом | Детали технического и бытового назначения |
| 15 | Продукт реакции между поливиниловым спиртом и масляным альдегидом | Для изготовления пленки, применяемой при склейке триплекса, изготовления клея, лаков |
| 16 | Продукт блочной полимеризации стирола | Детали высокочастотной электро- и радиоаппаратуры (марка Д) и технического назначения (марка Т) |
| 17 | Продукт эмульсионной полимеризации стирола | Для изготовления различных деталей литьем под давлением и пенопластов |
| 18 | Пенопласт на основе полистирола, газонаполненная пластмасса с равномерной, замкнутопористой структурой | ПС-1 для обтекателей радиотехнической высокочастотной аппаратуры и легких наполнителей многослойных конструкций; марки ПС-4 и ФК-20 (термостойкий до 120°) (см. п. 11). |
| 19 | а) Продукт реакции конденсации гексаметилендиамина с адипиновой кислотой; б) продукт полимеризации капрлактама | а) Для производства искусственного волокна, деталей технического назначения (например, антифрикционных), тканей; б) для аналогичных целей. |
| 20 | Полимер этилена | Высококачественная техника и защита от коррозии |

* См. соответствующий номер в табл. 12.

КЛЕИ

Для обеспечения качественной склейки применяют клеи, смачивающие поверхность склеиваемого материала и имеющие, как правило, одинаковую с ним полярность*.

Обязательным условием при этом является отсутствие остаточных напряжений в клеевом соединении после затвердевания клея.

Для соединения непористых материалов следует по возможности применять клеи, не содержащие летучих растворителей.

Для склеивания металлов и пластмасс, а также металлов с неметаллическими материалами в машиностроении применяют универсальные клеи БФ-2, БФ-4, карбинольный клей, а также клеи марок ПУ-2 и ПК-5 (Нормали МАП АМТУ № 342-54 АМТУ 329-53).

Для склеивания слоистых пластиков (текстолита, гетинакса, дельта-древесины), а также древесины применяют смоляные клеи ВИАМ-БЗ, КБ-3, ЦНИПС-2, В-31-Ф9 (ТУГХПК №375-53 — на смолу ВИАМ-Ф9) и белковые казеиновые клеи В-105 и В-107. Последние ограничено водостойки, подвержены воздействию гнилостных микроорганизмов и не обеспечивают достаточной прочности клеевого соединения, особенно в условиях эксплуатации при повышенной влажности. Это также относится к мездровым клеям, применяемым для склеивания древесины. Взамен казеиновых клеев, изготовляемых на пищевом сырье, можно применять клей К-17 на основе мочевиноформальдегидной смолы МФ-17 (ВТУ МХП 2538-55).

Для склеивания резины и резины с металлом применяют клеи: лейкокат (ТУ МХП 2841-52), БФ10, КВД-3 (НИИПМ), термолпен (ТУ РП 351-Н), клей марки 88 (ТУ МХП 1542-49) и др. При нагреве клей 88 может быть использован и для склеивания других неметаллических материалов. Для приклеивания тканей к дереву применяется нитроклей АК-20 (ТУ НКХП 720-41), к дереву и металлу — перхлор-

виниловый клей КВК-2а (ВТУ МХП 2190-50), для приклеивания теплозвукоизоляционных материалов к металлу, алюминиевой фольги к прорезиненной ткани применяют клеи глифталевый АМК (ТУ МХП 1515-50).

Для склеивания органического стекла служит преимущественно 3%-ный раствор полиметилметакрилата в дихлорэтаноле. Отрицательным свойством его является агрессивность по отношению к оргстеклу (вызывает образование «серебра»). Неагрессивным является клей ВК-70-32. Для защиты поверхности оргстекла оклейкой бумагой используют глюкозно-крахмальными клеями или казеино-глицериновым клеем (казеина марки В-105—100 вес. ч., глицерина — 40 и воды 200 вес. ч.); для склеивания материалов на основе хлорвинила и его сополимеров (винипроз С и др.) — перхлорвиниловый клей на основе перхлорвинилового смолы, растворенной в смеси растворителей: этилацетата — 70%, бутилацетата — 10% и бензина — 20%, для склеивания невулканизированных резиновых смесей — клей марки К-28 (ТУ МХП 1693-51), а для склеивания баллонных и других изделий — клей 4508 (ТУ МХП-1105-50).

Универсальные клеи

Карбинольный клей (ВТУ МАП 45-54) жидкий или пастообразный (с наполнителем) готовят из карбинольного сиропа (ТУ МХП-518-54). Склейка карбинольным клеем может быть осуществлена при комнатной температуре и при нагреве.

Жидкий карбинольный клей с отвердителем — перекисью бензоила — применяют для склеивания металлов (стали, дуралюмина), пластмасс, силикатного стекла и других материалов как между собой, так и в комбинации с другими материалами.

Пастообразный карбинольный клей (клей-цемент) применяют главным образом для склеивания мрамора, фарфора, пористых материалов, для заделки трещин, отверстий, выравнивания вмятин на поверхности и т. д.

Карбинольные клеи дают ограниченно термостойкие (до 60—70°), недостаточно водо- и морозостойкие и недостаточно вибростойкие соединения, но стойкие против воздействия масла, бензина и керосина. Отвердевший клей обладает высокой грибостойкостью.

* Полярными являются: целлюлоза (древесина, хлопок, бумага), феноло- и мочевиноформальдегидные смолы (до затвердевания), вода, спирт и другие соединения с гидроксильными группами (ОН), металлургические окислы. К неполярным относятся: каучук, полиэтилен, тефлон, бензол, минеральные масла и др.

При нормальной температуре предел прочности при скалывании (сдвиг) клеевых соединений сталь — сталь, сталь — дуралюмин и дуралюмин — дуралюмин достигает 125—175 кг/см^2 ; дуралюмин — дельта-древесина и фарфор — фарфор — до 100—150 кг/см^2 , текстолит — текстолит, дуралюмин — текстолит — до 100 — 125 кг/см^2 ; сталь — текстолит и дуралюмин — фибра — до 100 кг/см^2 ; фибра — фибра — около 90 кг/см^2 ; эбонит — эбонит и дуралюмин — оргстекло — 50—80 кг/см^2 .

Клеи БФ-2 и БФ-4 (ТУ МХП 1367-49) представляют собой спиртовые растворы специальных смол. Эти клеи выпускаются для применения в готовом виде. Срок их хранения в герметически закрытой таре до 6 мес. При нарастании вязкости допустимо разбавление клея спиртом. Отверждение клея происходит при температуре 140—150° С.

Клеи БФ-2 и БФ-4 масло-бензостойки и грибостойки. Водостойкость клеевого соединения удовлетворительна, термостойкость ограничена: при +60° С крепость клеевого шва при склейке дуралюмина с дуралюмином снижается на 40—50%; морозостойкость, особенно клея БФ-2, также ограничена. Клеями БФ-2 и БФ-4 можно склеивать примерно те же материалы, что и карбинольным клеем. Клеи обеспечивают достаточную пластичность клеевого слоя. При склеивании клеем БФ-4 стеклотекстолита «на ус» или «внахлестку» предел прочности при сдвиге равен 60—80 кг/см^2 ; стеклотекстолита с дуралюмином — 85—95 кг/см^2 , дуралюмина с дуралюмином — до 200 кг/см^2 и гарантируется техническими условиями не менее 100 кг/см^2 при температуре 20° и 60 кг/см^2 — при температуре 60° С.

Прочие синтетические клеи (неуниверсальные)

Клей ВФ-10 (по ТУ МХП 1832-49) представляет собой бензино-ацетоновый раствор (в соотношении 5 : 1) синтетической смолы ФКФ со смесями нитрильной резины. Клей служит для склеивания резины, а также для привулканизации сырой нитрильной и севанитовой резины к металлической арматуре горячим способом. Предел прочности при отрыве клеевого соединения не менее 25 кг/см^2 .

Смоляные клеи. Фенольные клеи ВИАМ-Б3 и КБ-3 состоят (соответ-

ственно) из фенолбаритовой смолы ВИАМ-Б и Б, керосинового контакта (сульфонафтенновые кислоты) Петрова в качестве отвердителя и ацетона или спирта в качестве стабилизатора. Предел прочности при сдвиге клеевого соединения дельта-древесины равен 200 кг/см^2 , ясеня или бука — не менее 130 кг/см^2 . Они масло-, бензо-, грибо- и водостойки, но при повышенных температурах (70—90° С) подвергаются старению и неблагоприятно влияют на прочность близлежащих слоев склеиваемых элементов древесины. Эти клеи применяются преимущественно для склейки древесины.

Фенольно-резорциновый клей В31-Ф9 по своему составу близок к клею ВИАМ-Б3 и применяется примерно для тех же целей, что и клей ВИАМ-Б3, и обладает меньшей токсичностью, чем последний.

Модификация клея В31-Ф9 успешно применяется для склейки оргстекла со стеклотекстолитом марки ПМК-3 и других материалов. Физико-механические свойства клея В31-Ф9 аналогичны свойствам клея ВИАМ-Б3, но при повышенных температурных условиях эксплуатации обеспечивают большую долговечность клееных деревянных конструкций. Подобными свойствами обладает фенольноформальдегидный клей ЦНИИПС-12, имеющий в своем составе 10% глицерина в качестве стабилизатора.

Для склейки древесины, дельта-древесины, фанеры, бумаги и тому подобным неметаллических материалов также получили применение карбамидный клей типа КМ-1 и клей МФ-17. Эти клеи обеспечивают высокую прочность клеевого соединения, масло-, бензо-, грибо-стойки, менее водостойки и относительно более пахучи (пахнут формалином), чем клей типа ВИАМ-Б3. Применение этих клеев требует более тщательной пригонки склеиваемых элементов.

Казеиновые клеи. Клеи В-105 и В-107 (ГОСТ 3056-45) применяются преимущественно для склеивания древесины (склейка деталей, фанерование).

Прочность соединений на скалывание вдоль волокон ясеня и дуба в сухом состоянии не менее 100 кг/см^2 . После вымачивания в воде в течение 24 час. прочность падает до 70 кг/см^2 . Клеи эти недостаточно водо- и грибостойки, но обладают масло-, бензо- и вибро-стойкостью.

РЕЗИНА

Свойства резины. В машиностроении применяются мягкая эластичная резина и твердая резина — эбонит. Мягкая эластичная резина обладает большим относительным удлинением и может переносить многократно повторные деформации. Методы испытания резины стандартизованы [1].

Предел упругости резины почти совпадает с пределом прочности. Объем резины при деформировании практически не изменяется. Петля гистерезиса при первом цикле деформации имеет наибольшую величину, последующие циклы ведут к ее постепенной стабилизации.

Постоянная статическая или многократная динамическая деформации вызывают утомление резины, снижающее ее прочность. Наличие начального напряжения при симметричных циклах деформации, не допускающего возвращения резины к нулевому напряжению, усиливает сопротивление динамическому утомлению.

Старение резины состоит в изменении физико-механических свойств под влиянием атмосферных факторов (кислорода и озона воздуха, света, тепла и т. д.).

Морозостойкость резины определяется испытанием основных прочно-

стных характеристик при температурах -35 , -40 и -55°C .

Сопротивление резины набуханию в маслах, кислотах, щелочах определяется при температуре $20 \pm 3^{\circ}$, $70 \pm 2^{\circ}$, $100 \pm 3^{\circ}\text{C}$ и характеризуется процентным изменением (обычно увеличением) объема или веса образца.

Физические свойства мягкой резины и эбонита приведены в табл. 13.

Свойства промышленного электротехнического эбонита характеризуются следующими показателями (ГОСТ 2748-53):

| | |
|----------------------------------------------------------|----------|
| Удельный вес | < 1,25 |
| Предел прочности при изгибе в кг/см^2 | > 700 |
| Хрупкость в кг/см^2 | > 1,5 |
| Твердость в кг/см^2 | 900—1400 |
| Теплостойкость в $^{\circ}\text{C}$ | 50—80 |
| Водопоглощаемость в г/дм^3 | 0,02 |

| | Марка А | Марка Б |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|
| Удельное поверхностное электрическое сопротивление в ом | > 10^{14} | > 10^{14} |
| Удельное объемное электрическое сопротивление в $\text{ом}\cdot\text{см}$ | > 10^{15} | > 10^{14} |
| Тангенс угла диэлектрических потерь при 10^5 гц | < 0,01 | < 0,01 |
| Диэлектрическая прочность образца толщиной 4 мм в кв | > 60 | > 60 |
| Диэлектрическая проницаемость | < 3,5 | < 3,5 |

Таблица 13

Физические свойства мягкой резины и эбонита

| Свойства | Мягкая резина с 2% серы | Эбонит с 32% серы |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------|
| Коэффициент теплопроводности в $\text{кал}\cdot\text{см}^{-1}\cdot\text{сек}^{-1}\cdot\text{град}^{-1}$ | $342 \cdot 10^{-6}$ | $388 \cdot 10^{-6}$ |
| Удельная теплоемкость в $\text{кал}\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{град}^{-1}$ | 0,510 | 0,341 |
| Теплота сгорания в $\text{кал}\cdot\text{г}^{-1}$ | $10,63 \cdot 10^4$ | $7,92 \cdot 10^4$ |
| Сжимаемость $\frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dP}$ в бар^{-1} | $51 \cdot 10^{-6}$ | $24,3 \cdot 10^{-6}$ |
| $\frac{d}{dT} = \left(\frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dP} \right)$ в $\text{бар}^{-1}\cdot\text{град}^{-1}$ | $262 \cdot 10^{-9}$ | $110 \cdot 10^{-9}$ |
| Коэффициент Пуассона (удлинение < 300%) | 0,500 | 0,2 |
| Скорость звука v в $\text{м}\cdot\text{сек}^{-1}$ | 37 | 1560 |
| $\frac{dV}{dT}$ в $\text{м}\cdot\text{сек}^{-1}\cdot\text{град}^{-1}$ | 0,244 | — |
| Показатель преломления n_D | 1,5264 | 1,6 |
| $\frac{dn_D}{dT}$ град^{-1} | $350 \cdot 10^{-6}$ | — |
| Оптический коэффициент напряжения в брюстерах | 2100 | 106 |
| Диэлектрическая постоянная (при 1000 циклах в 1 сек.) | 2,68 | 2,82 |
| Коэффициент потерь (при 1000 циклах в 1 сек.) | $1,8 \cdot 10^{-3}$ | $5,1 \cdot 10^{-3}$ |
| Электропроводность в $\text{ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$ | $13 \cdot 10^{-18}$ | $15 \cdot 10^{-18}$ |

Резиновые изделия

Изделия для оснащения движущихся устройств. Шины, состоящие из покрышек и камер, а для колес с плоскими разборными ободами — также из флепов (ободных лент). Эксплуатационные характеристики пневматических шин приведены в ГОСТ 4754-54, 5513-54, 2686-44, 4750-52, 5652-51; шин массивных по ГОСТ 5883-51.

Ремень и ленты. Плоские тканевые прорезиненные ремни изгото-

вляются по ГОСТ 101-54; ремни клиновидные в установленном ассортименте — по ГОСТ 1284-45 и ГОСТ 5813-51, ремни льнотеребилные по ГОСТ 4017-48, ленты транспортные различных конструкций — по ГОСТ 20-54.

Ленты элеваторные, гусеничные и эскалаторные не стандартизованы и выполняются по техническим условиям.

Рукава. Ассортимент напорных и всасывающих рукавов приведен в табл. 14—16.

Таблица 14

Напорные рукава для воды, бензина, керосина, минеральных масел (при $t = 30^\circ\text{C}$) и слабых растворов кислот и щелочей (по ГОСТ 1330-55)

| Внутренний диаметр в мм | | Толщина резиновых слоев в мм не менее | | Рекомендуемое число тканевых прокладок для рукавов, работающих под давлением, в кг/см ² | | | | | Длина рукава в м |
|-------------------------|------------------------|---------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|----|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Номинальный | Допускаемое отклонение | внутреннего | наружного | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | |
| 9 | ±0,5 | 1,5 | 1,0 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | Оговаривается потребителями при заказе и согласовывается с заводом — изготовителем рукавов |
| 13 | ±1,0 | 1,5 | 1,0 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | |
| 16 | ±1,0 | 1,5 | 1,0 | 2 | 2 | 4 | 5 | 6 | |
| 19 | ±1,0 | 1,5 | 1,0 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | |
| 25 | ±1,0 | 2,0 | 1,0 | 2 | 3 | 5 | 7 | 8 | |
| 32 | ±1,5 | 2,0 | 1,0 | 2 | 4 | 6 | 9 | — | |
| 38 | ±1,5 | 2,0 | 1,0 | 3 | 5 | 7 | 10 | — | |
| 51 | ±2,0 | 2,0 | 1,0 | 3 | 6 | 9 | 12 | — | |
| 63 | ±2,0 | 2,0 | 1,3 | 4 | 8 | — | — | — | |
| 76 | ±2,0 | 2,0 | 1,3 | 4 | — | — | — | — | |
| 102 | ±3,0 | 2,0 | 1,3 | 5 | — | — | — | — | |
| 125 | ±3,0 | 2,0 | 1,3 | 6 | — | — | — | — | |
| 150 | ±3,0 | 2,0 | 1,3 | 7 | — | — | — | — | |

Примечание. В местах нахлестки ткани и резины допускается утолщение, равное толщине наклеиваемой части.

Рукава напорные

Таблица 15

| Назначение | Внутренний диаметр в мм | Толщина внутреннего слоя резины в мм (не менее) | Длина в м | Рекомендуемое количество тканевых прокладок |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------|
| Для пищевых веществ (ГОСТ 1333-41); рабочее давление до 5 кг/см ² | 10, 13, 16, 19, 25, | 1,5 | 8, 9, 10, 18 и 20 | 2 |
| | 32 и 38 | 2,0 | | 3 |
| | 45 и 51, 65 и 76 | 2,0 | | 4 |
| Для газов (ГОСТ 71-55) Рабочее давление до 8 кг/см ² | 9 | 2,0 | По заказу | 3 |
| | 13 | 2,0 | | 3 |
| | 16 | 2,0 | | 3 |
| | 19 | 2,0 | | 3 |
| | 25 | 2,0 | | 4 |
| | 32 | 2,5 | | 5 |
| | 38 | 2,5 | | 6 |
| | 51 | 2,5 | | 8 |
| | 63 | 2,5 | | 10 |
| 76 | 2,5 | 11 | | |

Продолжение табл. 15

| Назначение | Внутренний диаметр в мм | Толщина внутреннего слоя резины в мм (не менее) | Длина в м | Рекомендуемое количество тканевых прокладок |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------|
| Для железнодорожных и трамвайных воздушных тормозов (ГОСТ 1335-51) | 13 | 1,5 | 1635 мм | 2 |
| | 22 | 3,5 | по заказу | 3 |
| | 25 | 3,5 | 610, 650, 750, 800, 900 и 1000 | 4 |
| | 28 | 3,5 | 300, 450, 610 и 760 | 4 |
| | 32 | 3,5 | 610 и 1760 | 5 |
| | 35 | 3,5 | 610 мм | 5 |
| Для пескоструйных аппаратов (ГОСТ 5684-51); | 16 и 19 | 3,0 | 9, 10, 18 и 20 | 2 |
| | 25 и 28 | 3,0 | | 3 |
| | 32 и 38 | 3,0 | | 4 |
| | 50 | 3,0 | | 5 |
| Паропроводные (без спирали) (ГОСТ 90-41); рабочее давление до 8 кг/см^2 | 13 | 2,5 | 9, 10 18 и 20 | 3 |
| | 16, 19 и 25 | 2,5 | | 4 |
| | 32 | 2,5 | | 6 |
| | 38 | 3,0 | | 7 |
| | 51 | 3,0 | 8 | |
| Шланги и муфты дюритовые (для бензина или воды) (ГОСТ В-1819-42) | 4, 6, 8, 10, 12, 14 | 1,9 | 1—2 | 2 |
| | 16, 18, 22, 24, 25 | 1,9 | 1—2 | 2 |
| | 27, 30, 32, 35, 38, 40 | 1,9 | 1—2 | 2 |
| | 42, 48, 51, 54, 58, 63, 70, 76 | 1,9 | 1—2 | 3 |
| | 90 | 1,9 | 1—2 | 3 |
| Шланги и муфты дюритовые для маслосистемы моторов (ГОСТ 2299-43) | 4, 6, 8, 10 | 2,0 | 0,5—10 | 2 |
| | 12, 14 | 2,0 | 0,5—10 | 3 |
| | 16, 18, 20, 22 | 2,0 | 0,5—10 | 3 |
| | 25, 27, 30 | 2,0 | 0,5—10 | 4 |
| | 32, 35, 40 | 2,0 | 0,5—10 | 5 |
| | 42, 51, 54 | 2,0 | 0,5—10 | 5 |
| Для штукатурных работ (ГОСТ 6014-51); рабочее давление для диаметров 32, 51 и 65 мм — 15 кг/см^2 ; для 38 мм — 10 кг/см^2 | 32 | 2,5 | 9, 10, 18 и 20 | 6 |
| | 38 | 2,5 | | 5 |
| | 51 | 3,0 | | 7 |
| | 65 | 3,0 | | 9 |

Рукава напорные для горячих гидромониторов с рабочим давлением 25 кг/см^2 , внутренним диаметром $76 \pm 1,5$ и $100 \pm 2,0$ мм изготавливаются по ГОСТ 4792-49; рукава буровые на рабочее давление 100 кг/см^2 — по ГОСТ 5332-53; рукава высокого давления с металлической оплеткой — по ГОСТ 6286-52 (табл. 17).

Резиновые изделия, несущие нагрузку.

а) Амортизаторы, состоящие из двух металлических (плоских, трубчатых или фасонных) оснований, между которыми прочно прикреплена резина, используются в условиях сдвига, кру-

чения, сжатия или их комбинаций. Прочность крепления резины к металлу достигает при отрыве (от стали и латуни) 40 кг/см^2 и выше.

б) Амортизационный шнур (ГОСТ 1788-42) применяется в качестве амортизатора растяжения.

в) Обкладки валов (для машин бумажной, текстильной и другой промышленности) состоят из эбонита толщиной 6—10 мм или из слоя эбонита толщиной 5—6 мм и поверх него слоя мягкой резины толщиной 5—40 мм. Обкладка химической аппаратуры для защиты от коррозии трубопроводов,

Таблица 16

Рукава всасывающие

| Назначение | Внутренний диаметр в м.м. | Толщина резинового слоя в м.м. | | | Длина в м. | Рекомендуемое количество тканевых прокладок | Проволока для спиралей | | Положение спиралей |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------|--------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------|--------------------|
| | | внутреннего | над спиралью | наружного | | | Диаметр в м.м. | Тип | |
| Для воды, слабых кислот и щелочей по ГОСТ 85-55 | 16, 19, 25, 32, 38, 51, 65, 76, 90, 102, 125, 140, 152, 173, 198 | 1,5 | 1,0 | 1,3 | 2, 4, 8 | 2 | 1,6-2,8 | ГОСТ 3282-46 То же | Закрытая То же |
| | | 2,0 | 1,5 | 1,5 | 2, 4, 8 | 3 | 3,0-4,0 | То же | |
| | | 2,0 | 1,5 | 1,5 | 2, 4, 8 | 4 | 4,0-5,5 | | |
| | | 2,0 | 1,5 | 1,5 | 2, 4, 8 | 5 | 5,5 | | |
| | | Для пищевых веществ (ГОСТ 1334-41) | 19, 25, 32, 38, 45, 57 и 65, 76 и 102, 127 и 152 | 1,5 | 1,0 | 1,0 | 4: 8 | | |
| 1,5 и 2,0 | 1,5 | | | 1,0 и 1,5 | 4: 8 | 3 | 1,8-5,0 | | |
| 1,5 | 1,5 | | | 1,5 | 4: 8 | 4 | 1,8-5,0 | | |
| — | — | | | — | 4: 8 | 3 | Первая 2,3-6,0 Вторая 1,0-1,2 | | |
| — | — | | | — | 4 | 4 | | | |
| Для нефти (ГОСТ 1332-41) | 25, 32, 38 и 45, 50, 63, 76, 90 и 160, 125 и 150, 203, 225, 255 и 305 | — | — | — | 4: 8 | 3 | Первая 2,3-6,0 Вторая 1,0-1,2 | То же | |
| | | — | — | — | 4: 8 | 4 | | | |
| | | — | — | — | 4: 8 | 5 | | | |
| | | — | — | — | 4 | 6 | | | |
| Для бензина (ГОСТ 5398-50) | 25, 25, 25, 38 | 1,3 | — | 0,9 | 1 | 4 | Первая 2,5-3,0 Вторая 2,0-2,5 с шагом 10-15 | То же | |
| | | 1,3 | — | 0,9 | 4,5 | 4 | | | |
| | | 1,8 | — | 0,9 | 9,0 | 4 | | | |
| | | 1,8 | — | 0,9 | 7,5; 9,0; 10,0; 12,0 и 15,0 | 4 | | | |
| | 51, 63, 76, 76 | 1,8 | — | 0,9 | 4,5; 6,0; 9,0 и 18,0 | 4 | Первая 3,0-3,5 Вторая 2,0-2,5 с шагом 15-20 | То же | |
| | | 1,8 | — | 0,9 | 3,0; 4,5 и 9,0 | 5 | | | |
| | | 1,8 | — | 0,9 | 4,5; 9,0; 12,0 и 18,0 | 5 | | | |
| | | 1,8 | — | 0,9 | 9,0 | 7 | | | |

Таблица 17

Рукава высокого давления (ГОСТ 6286-52)

| Внутренний диаметр в мм | Число оплеток | | | Толщина резиновых слоев в мм | | Наружный диаметр в мм | Рабочее давление в кг/см ² |
|-------------------------|---------------|---------------|--|------------------------------|-----------|-----------------------|---------------------------------------|
| | тканевых | металлических | | внутреннего | наружного | | |
| 8 | 2 | 2 | | 2,0 | 1,2 | 21 | 150 |
| 10 | 2 | 2 | | 2,0 | 1,2 | 23 | 150 |
| 12 | 2 | 2 | | 2,0 | 1,2 | 25 | 150 |
| 20 | 2 | 2 | | 2,0 | 1,2 | 38 | 150 |
| 25 | 2 | 2 | | 2,0 | 1,2 | 49 | 150 |
| 32 | 2 | 3 | | 2,0 | 1,2 | 56 | 70 |
| 38 | 2 | 3 | | 2,0 | 1,2 | 62,5 | 70 |

насосов, вентиляторов, емкостей и т. п. производится эбонитом или мягкой резиной.

Условия стойкости резины против действия химических сред приведены в табл. 18.

Таблица 18

Условия стойкости резины против действия химических сред [2]

| Химическая среда | Наибольшая концентрация в весовых процентах | Пределная температура в °С |
|------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------|
| | | |
| серная | 50 | 65 |
| соляная | Любая | 65 |
| плавиковая | " | 65 |
| кремнефтористоводородная | " | 65 |
| фосфорная | 75 | 50 |
| уксусная | Любая | 65 |
| лимонная | " | 65 |
| Едкий натр | " | 65 |
| Едкое кали | " | 65 |
| Нашатырный спирт | " | 50 |
| Известковое молоко | " | 50 |
| Белильная известь | " | 35 |
| Хлористый цинк | 50 | 35 |
| Бисульфат натрия | Любая | 65 |
| Ацетон | " | 65 |
| Спирт: | | |
| этиловый | Любая | 60 |
| метиловый | " | 65 |

Примечание. Для устойчивости против окисляющих сред применяют специальные виды резины.

Эбонит не применяется при концентрации серной кислоты выше 50% и азотной — выше 20%. В остальных перечисленных в табл. 18 реагентах он стоек при любой концентрации.

Резиновые подушки для штамповки изделий из металлических листов представляют собой составные пластины толщиной до 210 мм.

Резиновые уплотнители. Для турбобуров применяются резино-металлические подшипники и подпятники скольжения и резиновые уплотнители (ГОСТ 4671-53). Поршни резиновые к грязевым насосам самоуплотняющиеся (ГОСТ 4672-49) и уплотнители к грязевым насосам (ГОСТ 4673-49). Прокладки уплотнительные для диффузоров и вакуум-аппаратов (ГОСТ 6051-51).

Резиновые монтажные изделия. К ним относятся: шнур резиновый (ГОСТ 6467-53), кольца резиновые прокладочные для соединительных рукавов и концевых кранов к автотормозам (ГОСТ 38-52), кольца резиновые для гаек, пожарных рукавов (ГОСТ 6557-53), кольца для асбоцементных труб (ГОСТ 5228-50); кольца для буровых труб (ГОСТ 6365-52), клапаны резиновые шаровые из черной или белой резины с чугунным ядром (диаметры клапанов от 45 до 150 мм, вес от 125 до 9335 г), вакуумная трубка для откачки воздуха из баллонов для электровакуумных приборов (ГОСТ 4392-48), резина техническая листовая (ГОСТ 7338-55).

Электроизоляционные изделия. Трубки изоляционные полутвердые (ГОСТ 3747-47) внутреннего (номинального) диаметра от 5 до 36 мм, изоляционная лента (ГОСТ 2162-43) из сурового миткаля, промазанного (с одной или с обеих сторон) липкой резиновой смесью, выпускается в кругах наружным диаметром 175 ± 25 мм, шириной 10; 15; 20 и 50 мм с разрывной силой не менее 6 кг на 1 см ширины, маты диэлектрические резиновые (ГОСТ 4997-49), моноблоки аккумуляторные (ГОСТ 6980-54).

КОЖА ТЕХНИЧЕСКАЯ

Кожа техническая (по ГОСТ 1898-48) применяется для производства приводных ремней, кожаных деталей к машинам и разнообразных технических изделий в различных отраслях промышленности.

Назначение технической кожи и механические свойства даны в табл. 19.

Таблица 19

| Группа кож | Тип кожи | Назначение кож | Конфигурация | Лицо кожи | Толщина кожи в мм | $\frac{\sigma}{E}$ в кг/мм ² не менее | δ в % |
|----------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------|--------------|
| Для приводных ремней | Чепрак ремневый | Приводные ремни | Чепрак | Лощеное | $>3,0$ | 2,5—3 | 15—18 |
| Для деталей машин | Кожа для гонков | Гонки к ткацким станкам | Чепрак Получепрак Воротки Полы | Гладкое | $>4,0$ | 2 | $>8,0$ |
| То же | Кожа для гонков пергаментная | Гонки к ткацким станкам | Целая кожа Полукожа Чепрак Получепрак Воротки Рыбка | Неотделанное | $>3,0$ | — | — |
| • | Кожа для сучильных рукавов | Сучильные рукава кардочесальных машин | Чепрак | Гладкое | $>4,0$ | 2 | — |
| • | Кожа муфтовая | Транспортеры и прокладки гребенчатых машин, сучильные муфты | Чепрак | Лощеное или шлифованное | $>4,0$ | 3 | $\leq 30,0$ |
| • | Кожа для делительных ремешков | Делительные ремешки к делительной каретке кардочесальной машины | Продольные полосы чепрака, раскроенного на три части | Гладкое | $>4,0$ | 2,5 | ≤ 12 |
| • | Кожа для погонялочных ремней | Погонялочные ремни к ткацким станкам хлопчатобумажного, суконного и джутового производства | Чепрак Получепрак | Неотделанное | 4,0—5,0 | 3,5 | ≤ 35 |

Продолжение табл. 19

| Группа кож | Тип кожи | Назначение кож | Конфигурация | Лицо кожи | Толщина кожи в м.м | $\sigma_{вР}$ в кг/мм ² не менее | δ в % |
|-------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------|--------------|
| Для деталей машин | Кожа для валов хлопкоочистительных машин | Круги к валам хлопкоочистительных машин системы "Джин" | Целая кожа Полукожа "Рыба" Воротки и части кож; допускается бахтарманный спидок | Поперечный разрез ворсистый | $\geq 3,0$ | - | - |
| То же | Кожи для манжет и прокладок: а) тяжелая | Манжеты компрессорные уплотнительные, поршневые, насосные, автофакторные, винтовые, тормозных систем и пр.; прокладки; кольца и клапаны; сальниковая набивка; ремни шлифовальные; муфты бесшумных систем и пр. | Чепрак | Гладкое, бахтарма строганая | $\geq 2,5$ | 2,5—3 | 18—25 |
| | | | | | | | |
| " | Кожа валичная | Рубашки к вытяжным валикам текстильных машин | Целая кожа | Лощеное, бахтарма строганая и шлифованная | 0,5—0,9 | 1,75—2,5 | $\leq 20,0$ |
| | | | | | | | |

АСБЕСТ

Свойства асбеста

К асбестам относятся некоторые минералы групп серпентина (хризотиласбест) и амфибола (амфиболоасбест), обладающие способностью расщепляться на отдельные гибкие волокна. Минералы асбеста являются водными силикатами магния, железа и отчасти кальция и натрия. Наибольшее значение в промышленности имеет хризотиласбест (ГОСТ 7-51). Волокна хризотиласбеста обладают высоким пределом прочности на разрыв, толщиной элементарного волокна 0,75 мк, большой эластичностью, прядильной способностью, высокими диэлектрическими свойствами, высокой щелочестойкостью, незначительной теплопроводностью. В отличие от амфиболоасбеста хризотиласбест менее кислотостоек.

Асбест огнестоек (не горит). При нагревании до 360° С хризотиласбест теряет гигроскопическую воду, благодаря чему снижаются его прочность и эластичность (примерно на 80%). Однако при вылеживании в условиях нормальной температуры и влажности волокно вновь поглощает влагу и восстанавливает свои свойства. При нагревании в интервале 450—700° С хризотиласбест начинает терять химически связанную воду (кристаллизационную) и полностью теряет ее при нагревании свыше 700—800° С, становится непрочным и легко растирается в порошок. Утерянные свойства уже не восстанавливаются. При температуре около 1500° С хризотиласбест плавится.

Теплопроводность асбеста 0,102—0,130 ккал/м час °С в зависимости от объема веса и температуры испытания. Коэффициент теплопроводности изделий из асбеста доходит до 0,06 ккал/м.час.°С.

Разрушение асбеста кислотой характеризуется данными, приведенными в табл. 20.

Таблица 20

| Виды асбеста | Потери веса в % после обработки 25%-ной соляной кислотой на холоду в течение | | | |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|----------|
| | 1 суток | 3 суток | 7 суток | 28 суток |
| Хризотиласбест Баженовский . . . | 25 | 38 | 51 | 55 |
| Амфиболоасбест . . . | 2,9 | 3,2 | 3,2 | 3,3 |

Асбестовые изделия *

Асбестовое волокно и фильтрпластины. В промышленности применяются трепаное волокно, фильтроволокно и фильтрпластины. Асбестовое трепаное волокно (ТУМХП 323-Н) вырабатывается из хризотиласбеста 3-го, 4-го и 5-го сортов и применяется в чистом виде для набивок изоляционных матрацев и как составная часть изоляционных смесей. Содержание влаги — не больше 6%; потери при прокаливании — до 14% (не считая гигроскопической воды).

Трепаное волокно должно быть однородным и без посторонних примесей.

Трепаное волокно из асбеста не ниже 3-го сорта применяется в сочетании с каучуком или синтетическими смолами для изготовления тормозных накладок, фрикционных колец и других изделий. Оно не должно содержать растительных и животных волокон, а также примеси породы.

Фильтрволокно (ТУМХП 331-Н) — смесь волокон хризотиласбеста с волокнами сульфитной целлюлозы — изготавливается трех марок: ЯК-1, ЯК-2, ЯК-3. Фильтрволокно ЯК-1 применяется для фильтрования быстротечуемых жидкостей, ЯК-2 — вязких жидкостей, ЯК-3 — жидкостей средней вязкости. Фильтрволокно должно быть белого цвета (допускается серый оттенок) без постороннего запаха. Потеря веса при прокаливании не должна превышать: для ЯК-1 — 26 ÷ 34%; ЯК-2 — 68 ÷ 78%; ЯК-3 — 55 ÷ 65%.

Фильтрпластины изготавливаются в виде стерилизующих пластин — Ф и фильтрующих — Ф (ГОСТ 480-41). Пластины марки СФ применяются для стерилизации жидкостей холодным способом и дают абсолютно стерильный фильтрат, не содержащий микроорганизмов. Пластины Ф применяются для предварительных фильтрований. Они осветляют жидкости и задерживают около 80% микроорганизмов и взвешенных частиц. Изготавливаются пластины толщиной 3,5 ± 0,5 мм и 4,5 ± 0,5 мм; диаметром 300 ± 2; 140 ± 2; 60 ± 1,5 и 35 ± 1 мм.

Текстильные изделия. Ткани асбестовые (ГОСТ 6102-52) изготавливаются девяти марок с различным содержанием хлопка, также изготавливаются ткани с медной или латунной проволокой (табл. 21).

* Составлено по данным Главшипрома Министерства химической промышленности.

Таблица 21

Размеры и показатели физико-механических свойств асбестовой ткани

| Марка ткани по ГОСТ 6102-52 | Прежнее обозначение ткани | Характеристика переплетения | Ширина в мм | Вес в Г/м | Толщина в мм | Количество нитей на 100 мм | | Предел прочностной полосы 50×100 мм в кг/м | | Потери при прокаливании в % не более |
|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------------------|-------------|-----------|--------------|----------------------------|---------|--------------------------------------------|---------|--------------------------------------|
| | | | | | | по основе | по утку | по основе | по утку | |
| АТ-1 | 35 | Миткалевое | 1040 | 1000 | 1,6 | 80 | 40 | 65 | 27 | 29,0 |
| АТ-2 | 81217 | То же | 1040 | 1100 | 1,9 | 60 | 30 | 50 | 17 | 32,0 |
| АТ-3 | 81220 | " | 1040 | 1500 | 2,9 | 45 | 22 | 42 | 12 | 32,0 |
| АТ-4 | 81230 | " | 1040 | 1900 | 3,5 | 45 | 19 | 42 | 14 | 32,0 |
| АТ-5 | 81240 (феродо) | Саржевое с латунной или медной проволокой | 1040 | 1900 | 3,2 | 45 | 19 | 68 | 25 | 32,0 |
| АТ-6 | КВ-2 | Саржевое | 1550 | 3400 | 3,8 | 138 | 74 | 250 | 150 | 19,0 |
| АТ-7 | КВ-13 | Миткалевое | 1520 | 1600 | 2,5 | 82 | 42 | 80 | 60 | 23,0 |
| АТ-8 | КВ-15 | Саржевое | 1500 | 2000 | 3,5 | 72 | 66 | 75 | 100 | 23,0 |
| АТ-9 | КВ-24 | " | 1500 | 2000 | 3,5 | 82 | 54 | 70 | 45 | 32,0 |

Асбестовые нити (ГОСТ 1779-55) изготавливаются из хризотилового асбеста с примесью до 20% хлопка. Асбестовые шнуры диаметром до 6 мм изготавливаются скручиванием нескольких нитей, сложенных вместе, а большего диаметра — из нескольких крученых нитей или ровниц, сложенных в сердечник, олетаемый одиночной нитью.

Нити и шнуры применяются в качестве теплоизоляционного материала, а также для уплотнения сальников, вентиля, дюков, крышек и тому подобных деталей машин и аппаратов.

Гигроскопическая влага не должна превышать 4%, а потеря веса при прокаливании не должна быть больше 32%.

Характеристика и ассортимент нитей приведены в табл. 21а.

Таблица 21а
Асбестовые нити

| Метрический номер | Толщина нити в мм | Крепость нити в Г (не менее) |
|-------------------|-------------------|------------------------------|
| 26,5 | 0,50 | 1000 |
| 15,0 | 0,75 | 1125 |
| 8,0 | 1,00 | 1260 |
| 5,5 | 1,50 | 1550 |
| 4,0 | 2,00 | 2000 |
| 3,0 | 2,50 | 3600 |

Примечание. Метрический номер выражается числом сотен метров нити в 1 кг.

Асбестовый шнур изготавливается следующих диаметров в мм: 3; 5; 6; 8; 9; 10; 13; 16; 19; 22 и 25.

Асбестовая крученая нить (ТУ 1277) изготавливается с одной или несколькими медными или латунными проволоками сечением 0,16—0,25 мм. Толщина нити с проволокой от 0,5 до 2,0 мм. Потери при прокаливании после изъятия проволоки не более 34%. Применяется в качестве уплотняющего материала в тепловых агрегатах.

Пух-шнур-4 для термоизоляции (ТУМХП 1319) — асбожгут асбестового волокна с примесью хлопка, окруженный снаружи несколькими одиночными асбестовыми нитями. Толщина шнура около 25 мм. Вес 1 пог. м не более 120 Г. Потери при прокаливании не более 32% для 1-го сорта и не более 35% для 2-го сорта.

Асбомагнезиальный шнур (ТУМХП 573) состоит из асбестовой оплетки, наполненной магнезией «Альба». Диаметры от 16 до 32 мм. Применяется для термоизоляции при температуре до 500°С. Вес 1 пог. м в зависимости от диаметра — 110—440 Г.

Ленты асбестовые тепло- и электроизоляционные — тканые теплоустойчивые ленты из асбестовой пряжи с примесью хлопка. Размеры и прочностные свойства приведены в табл. 22.

Потери при прокаливании не более 32%.

Асбестовые тепло- и электроизоляционные ленты

Таблица 22

| Лента | Размеры в мм | | Сопротивление разрыву в кг |
|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| | Ширина | Толщина | |
| Теплоизоляционная (ТУ 1474-48) | 20±2 | 0,5±0,1 | 8 10 |
| | 25±2 | 0,5 ^{+0,2} _{-0,1} | |
| Электроизоляционная (ТУ 147-Н) | 20 ⁺² ₋₁ | 0,4 ^{+0,05} _{-0,08} | 8 |
| | 25 ⁺² ₋₁ | 0,4 ^{+0,05} _{-0,08} | 10 |
| | 26 ⁺² ₋₁ | 0,5 ^{+0,05} _{-0,08} | 11 |
| | 30 ⁺² ₋₁ | 0,5 ^{+0,05} _{-0,08} | 14 |

Набивки, шнуры и полосы. Применяются для уплотнения сальников, люков и других специальных деталей, работающих в различных средах, при температуре до +460°С, давлении до 200 *ати* и больших скоростях. Назначение и краткая характеристика приведены в табл. 23.

Таблица 23

Набивки, шнуры и полосы

| Изделия и ТУ | Характеристика | Условия применения | | |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------|------------------|
| | | Рабочее давление в <i>ати</i> | Температура в °С | Среда |
| | <i>1. Набивки сухие квадратные или круглые</i> | | | |
| Набивка; ТУ 408-Н | Шнур из хлопчатобумажных нитей, □ и ○ сечения размером 4—50 мм | 200 | 100 | Пар и вода |
| Набивка; ТУ 410-Н | Плетеный шнур из пеньковой или джутовой пряжи, сечение размером 4—50 мм | 160 | 100 | То же |
| Набивка; ТУ 411-Н | Шнур, плотно набитый тальком с наружной оплеткой из хлопчатобумажных нитей, сердцевина — джутовые или пеньковые нити, □ и ○ сечения размером 6—50 мм | 3 | 100 | " |
| Набивка; ТУ 412-Н | Шнур, плетеный из асбестовых нитей, □ и ○ сечения размером 4—50 мм | 25 | 400 | Перегретый пар |
| | <i>2. Набивки самосмазывающие</i> | | | |
| Набивка; ТУ 407-Н | Шнур, плетеный из асбестовых нитей, пропитанный антифрикционной массой, □ и ○ сечения размером 5—50 мм | 25 | 300 | То же |
| Набивка; ТУ 409-Н | Шнур, плетеный из хлопчатобумажных нитей с антифрикционной смазкой, □ и ○ сечения размером 8—50 мм | 200 | 100 | Пар и вода |
| Набивка; ТУ 414-Н | Шнур просаленный с наружной оплеткой из хлопчатобумажной пряжи, плотно набитый тальком или тальком + графит, сердцевина — джутовые, пеньковые или хлопчатобумажные нити, □ и ○ сечения размером 4—50 мм | 25 | 400 | Вода, пар и газы |

Продолжение табл. 23

| Изделия и ТУ | Характеристика | Условия применения | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------|-------------------------|
| | | Рабочее давление в атм | Температура в °С | Среда |
| Набивка; ТУ 415-Н | Шнур, плетеный из льняной или джутовой пряжи, с антифрикционной массой, □ и ○ сечения размером 4—50 мм | 160 | 100 | Пар и вода |
| Набивка. Рациональ- ТУ 416-Н | Шнур, плетеный из асбестовой пряжи с медной проволокой, с антифрикционной массой и прографиченный, □ сечения размером 5—50 мм | 45 | 400 | Перегретый пар |
| Полуметаллические уплотнительные кольца и набивки: ВТУ У-32-51 | Кольца из красномедного сердечника сквозного плетения, обложенного с трех сторон асбестовой прорезиненной и прографиченной тканью | 60 | 460 | То же |
| Набивка асбоалюминиевая АФАН-1 для центробежных насосов: ВТУ 3534-52 | Набивки — шнур из асбестовой пряжи, просаленный, прографиченный и оплетенный снаружи красномедной проволокой | 60 | 460 | . |
| Набивка МБ-А для центробежных насосов: ВТУ У-34-53 | Разрезанные кольца прямоугольного сечения. Сердечник — асбестовые нити, пропитанные специальной массой, покрытый промасленной и прографиченной алюминиевой фольгой. Для скоростей до 20 м/сек | 18 | 300 | Нефтепродукты |
| Набивка СД-12 для центробежных насосов; ВТУ 3861-53 | Шнур из асбестовых нитей, пропитанный масло-бензостойкой композицией, □ сечения размером 4—50 мм | 50 | 300 | . |
| 3. Набивки и шнуры прорезиненные | | | | |
| Прокладки для уплотнения люков газогенератора. ТУ 1482-48 | Разрезанные кольца, □ сечения. Сердцевина — резиновая трубка и многослойная обертка из прорезиненной хлопчатобумажной ткани с антифрикционной смазкой. Вулканизованы и прографичены. Для скоростей до 0,25 м/сек | 11 | 60 | Дивиниловый спирт, вода |
| Толосы асбестовые для прокладок фланцев, люков, котельных лазов и т. д.; ТУ 92-Н-41 | Шнур круглого сечения; сердцевина из асбестовых крученых нитей, оплетенная медной, латунной или стальной проволокой | — | — | |
| Шнур № 2 и флотские шнуры № 7а, 7б, 7с; ТУ 91-Н-41 | Прокладки прямоугольного сечения из свернутых и уплотненных между собой слоев прорезиненной асбестовой ткани | — | — | |
| | Полосы № 12 из асбестовой ткани шириной 15—45 мм, толщиной 5—25 мм | 15—20 | 200 | Насыщенный пар |
| | Полосы № 12а из асбометаллической ткани шириной 46—100 мм, толщиной 5—25 мм | > 20 | 400 | Перегретый пар |
| | Вулканизованные набивки □ сечения из нескольких уплотненных между собой полос прорезиненной ткани; толщина и ширина 10—60 мм. Шнуры 7а, 7б, 7с имеют сбоку резиновое ядро, обернутое с трех сторон тканью | | | |
| | Шнур № 2 без ядра из льняной ткани, шнур № 7а из хлопчатобумажной ткани | > 20 | 100 | Вода |
| | Шнур 7б из асбестовой ткани | 15—20 | 200 | Насыщенный пар |
| | Шнур 7с из асбометаллической ткани | > 20 | 400 | Перегретый пар |

| Изделия и ТУ | Характеристика | Условия применения | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | Рабочее давление в атм | Температура в °С | Среда |
| Набивка для сальников паровых машин и гидравлических установок „Сплит“ № 13, 14 и 15; ТУМХП 90 | Набивки „Сплит“ из прорезиненной ткани — сплюснутая многослойная полоса, согнутая и спрессованная по длине пополам. № 13 — из льняной ткани, № 14 — из асбестовой ткани. | > 20 15—20 | 100 360 | Вода Перегретый и насыщенный пар Вода |
| Прокладочные кольца для уплотнения люков, котельных лазов и крышек газогенератора; ТУ 89-Н | № 15 из хлопчатобумажной ткани Прокладочные кольца круглого и прямоугольного сечения из прорезиненной ткани с внутренним диаметром 20—800 мм; размер круглого сечения 8—40 мм, □ сечения 12—100 мм: а) из асбестовой ткани б) из асбо-металлической ткани | > 20 15—20 > 20 | 100 300 400 | Вода Перегретый пар и отходящие газы |
| Кольцо „Лайон“ для уплотнения сальников; ТУМХП 88-Н | Уплотнительные набивки из полос прорезиненной ткани, последовательно закатанной в несколько слоев, замкнутых в круг и уплотненных в прессформах. Изготавливаются со свинцовыми гвоздями и без них, внутренний диаметр от 32 до 460 мм, ширина от 10 до 35 мм, высота 15—55 мм: а) из хлопчатобумажной ткани б) из асбестовой ткани | > 20 15—20 | 100 300 | Воздух, вода, пар и минеральные масла |
| Шнуры № 4, 5, 6 и набивки 8а, 8б, 8с и 8д; ТУ 87-Н | Шнуры и набивки — туго закатанные полосы прорезиненной ткани с резиновым ядром в центре и без ядра. Размеры: ○ сечения 8—70 мм, □ сечения 8—60 мм Шнуры 4а, 4в, 4г и 6 из хлопчатобумажной ткани, 5а, 5б, 5в и 5г из льняной ткани Набивки 8а, 8б, 8с и 8д из асбестовой ткани Набивки 8а, 8б, 8с и 8д из асбо-металлической ткани | > 20 15—20 > 20 15—20 > 20 | 100 300 100 200 400 | Воздух, вода, пар и минеральные масла Вода Насыщенный пар Перегретый пар и продукты горения |

Листовой асбестовый материал
Бумага асбестовая термоизоляционная (ГОСТ 2630-44) выпускается в виде отдельных листов и рулонов. Объемный вес — 700 — 900 кг/м³; коэффициент теплопроводности 0,11 — 0,13 ккал/м²·час·°С.

Бумага в листах выпускается размером 1000 × 950 мм и толщиной от 0,5 до 1,5 мм. Бумага в рулонах изготавливается шириной 670, 950 и 1150 мм и толщиной 0,3, 0,4, 0,5 и 0,65 мм.

Бумага асбестовая электроизоляционная (ТУ1281-51р). Отдельные листы и рулоны шириной 900 и 115 мм. Физико-механические свойства:

разрывное усилие в зависимости от толщины 2—3 кг при полоске шириной 15 мм вдоль волокна и 0,6—1,4 кг поперек волокна, пробивное напряжение 1250—2500 в.

Бумага асбестовая диафрагменная (ТУ 258-53р). Выпускается толщиной 0,65 мм, шириной 915, 950 и 1150 мм. Вес 1 м² — в пределах 450—700 г, потеря при прокаливании не более 16%, разрывная длина вдоль волокна не менее 240 м, поперек волокна не менее 130 м. Протекаемость для воды в 1 мин. через площадь в 1 м² при температуре воды 20°С и давлении гидравлического столба 700 мм —

3500 см³. Применяется в качестве диафрагмы при электролизе водных растворов хлористых солей щелочных металлов.

Бумага асбестовая для гидроизола (ТУ 64 и ТУМХП-У-25-49). Выпускается в рулонах шириной 950 мм и толщиной 0,65 мм.

Гидроизол—асбестовый картон, пропитанный нефтебитумом марки № 3. Гидроизол марки М содержит 15—20% целлюлозы, а марки ДС—100% асбеста. Целлюлоза ДС в условиях постоянной влажности в подземных сооружениях не подвергается гниению и является хорошим гидроизоляционным материалом.

Картон асбестовый (ГОСТ 2850-45) — обыкновенный с наполнителем (каолин до 30%) и чисто асбестовый без наполнителя. Для работ в кислой среде требуется специальный картон из кислотостойкого асбеста. Асбестовый картон выпускается в виде листов квадратной и прямоугольной формы с размерами сторон от 800 до 1000 мм и толщиной 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4—12 (через 1 мм).

Бумага асбестовая слатексом для набивки валов каландра (ВТУ 3321-53) изготавливается в рулонах шириной кратной 36 см, но не более 108 см, двух видов: А — из асбестового волокна и хлопчатобумажной полумассы; В — из 100% асбестового волокна.

Электронит (ВТУ 3485-52) из асбеста и каучука в листах размером 2800 × 1200 мм для толщины 0,2 мм и размером 1400 × 600 мм для толщины от 0,3 до 5,0 мм. Применяется в качестве прокладочного материала в электромашинах и аппаратах.

Паронит (ГОСТ 481-47) — листовый материал, изготовленный из асбеста, каучука и наполнителей. Применяется в виде прокладок, работающих в средах воды, насыщенного и перегретого пара, воздуха и инертных газов, и может также применяться для уплотнения мест соединения деталей, работающих в среде бензина, керосина и масла. Паронит выдерживает давление 50 кг/см² и температуру 450° С в средах воды и пара, а в средах бензина, керосина и масла — 75 кг/см² при комнатной температуре. Выпускается в виде листов от 300 × 400 до 1200 × 1500 мм, толщиной от 0,3 до 6,0 мм и по заказу — больших размеров. Удельный вес паронита — не более 2.

Вулканизированный паронит УВ-10 (ТУ 1369) значительно более бензо-, керосино-, маслостоек, чем описанный выше паронит. После выдерживания в керосине при комнатной температуре в течение 24 час. увеличение веса образцов должно находиться в пределах 16—23%, а в масле марки МК в течение 24 час. при температуре 150° С не должно превышать 23%.

Предел прочности на растяжение в нормальных условиях должен быть не менее 320 кг/см² в продольном направлении волокон и 120 кг/см² — в поперечном.

Вулканизированный паронит применяется как прокладочно-уплотнительный материал в авиамоторостроении.

Паронит 56 (ТУ 3095-52) изготавливается в виде отдельных листов размерами 500 × 500, 1000 × 950, 1200 × 700 мм, толщиной 0,5; 0,6; 1,0; 2,0; 2,5 мм. Работает и обеспечивает полную герметичность в среде водяного пара и парагаза (63% водяного пара + 37% свободного кислорода) при Р до 75 кг/см² и t до 450° С; в среде спирта (этилового) — при Р до 50 кг/см² и t ± 50° С; в среде жидкого кислорода — при Р до 35 кг/см²; в среде масла Л1 — при Р до 50 кг/см² и t ± 50° С; в среде воздуха при Р до 2 кг/см² и t + 40° и — 50° С. Поглощает спирта за 24 часа при 15—20° С не более 16%, не вызывает коррозии алюминия, дуралюмина и стали.

Паронит графитированный 56 (ТУ ХП 2976-51) то же, что и паронит 56.

Паронит Л и ЛВ (ГОСТ 2925-45) изготавливается на латексе и применяется для уплотнения водопроводов и паропроводов при давлении до 40 кг/см² и t = 375° С.

Паронит — электролизерный (ВТУ 5-47) — толщиной от 1 мм, длиной 7,5 мм в виде отдельных листов длиной до 2,8 м и шириной не более 1200 мм. После набухания в 30% КОН при t = 90° С за 24 часа увеличивается в весе не более чем на 20%. Деформация при сжатии до 600 кг/см² не более 10% без видимого разрушения. Электрическое сопротивление не менее 10 · 10⁶ в пересчете на 1 м длины сечением 1 мм². Применяется для уплотнения электролизеров типа ФВ и для электроизоляции ячеек электролизера.

Ферронит (ВТУ У-2-47) — листовый прокладочный материал на

основе волокна асбеста, каучука, армированный внутри металлической сеткой. Применяется для уплотнения мест соединения деталей в средах: бензин, керосин, минеральное масло и продукты сгорания керосина и бензина. Выпускается в листах размерами не более 1500 × 1000 мм.

Ферронит 56 (ТУ ХП 2978-51) — листы размерами 550 × 550 мм, толщины 1,5 и 2,0 мм. При испытании на фланцевом коллекторе обеспечивает герметичность при давлении 75 кг/см² и t-450° С в средах водяного пара и пара газа (63% водяного пара + 37% свободного кислорода). Не оказывает корродирующего действия на алюминий, дуралюмин и сталь.

Армированное полотно (ГОСТ 2198-43) — ткань, состоящая по основе и по утку из красномедной или латуной проволоки, скрученной с асбестовой пряжей. Выпускается толщиной 0,6, 0,7 и 1,1 мм и применяется в виде прокладок для уплотнения соединений деталей двигателей, работающих при температуре до 150° С. При набухании в течение 24 час. увеличение веса не должно превышать в воде 30% (в бензине — 22% и в масле — 32%).

Листы асбестальные (ТУМХП 260-Н) состоят из двух листов специального асбестового картона, соединенных с заключенным между ними стальным перфорированным каркасом толщиной 1,75 мм. Выпускаются в листах размером 500 × 500 мм. Поглощение воды за 24 часа не более 7%, масла автол 10 не более 15%, бензина не более 17%.

Изделия из асбестового картона (ТУ 254-Н) выпускаются в виде штампованных прокладок и по чертежам заказчика.

Прокладки из вулканизированного паронита (ТУ 1694-50) для уплотнения мест соединения, работающих в бензине и масле. Набухание в бензине не более 22%.

Асбометаллические прокладки и кольца для уплотнения различных соединений двигателей, трубопроводов, автотракторных деталей изготавливаются (по чертежам заказчика) двух типов: штампованными из двух листов фольги меди, латуни или алюминия и заключенного между ними асбестового картона (ТУХП 2977-51) и из двух листов специального картона (типа паронита), между которыми про-

кладывается перфорированный каркас листовой стали (ТУ 254-Н). Внутренние контуры могут иметь металлическую обкатку пистоном или ленточкой.

Фрикционные изделия. К этой группе относятся различные тормозные накладки, колодки, секторы и фрикционные диски сцепления, применяемые в машиностроении для ряда машин и агрегатов (автомобили, тракторы, самолеты, буровые станки, экскаваторы, прессы и др.), обеспечивающие необходимую силу трения при торможении или сцеплении деталей.

Эта группа насчитывает свыше 30 деталей, изготовляемых по чертежам заказчика. Из них приводим только некоторые.

Колодки и накладки тормозные формованные (ТУ 1554-49, ТУ 155-Н и др.). Твердость этих изделий — не ниже 15Н_В, коэффициент трения — не менее 0,35.

Износ должен быть не более 0,25 мм.

Лента тормозная тканая (ГОСТ 1198-55). Коэффициент трения по чугуну битумной лентой — не менее 0,35, а пропитанной маслом — 0,40 при температуре 100—120° С.

Кольца фрикционные тканые для дисков сцепления (ТУ 1573-49). Коэффициент трения у этих изделий при температуре 120° С — не менее 0,32.

Кольца фрикционные пресованные (ГОСТ 1786-42) из специального асбестового картона; обладают коэффициентом трения не менее 0,33.

СЛЮДА

Слюда — минерал, водный алюмосиликат калия, натрия, лития, магния или железа. Слюда обладает способностью расщепляться на тонкие гибкие пластинки.

Физико-механические свойства слюды приведены в табл. 24.*

Слюда применяется в виде листов, крошки и порошка, главным образом в качестве электроизоляционного материала; кроме того, слюда применяется в производстве различных деталей машин, нагревательных приборов (миканит), огнеупорных материалов, сухой

* Использованы: Техническая энциклопедия ОГИЗ 1933, т. 21, «Слюда» стр. 259—303 и материалы «Главслюда»

Физико-механические свойства слюды

Таблица 24

| Свойства | Мусковит | Флагопит | Биотит |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Показатель преломления Цвет | 1,561—1,594 Бесцветный, фиолетовый, желтый, бурый, зеленый | 1,562—1,606 Разнообразный от черного до белого | 1,541—1,574 Темнозеленый, светло- бурый и светлозеле- ный |
| Прозрачность * | Высокая прозрачность по отношению к видимым лучам | Прозрачен лишь в тонких пластинках | Непрозрачен или полу- прозрачен |
| Удельный вес в $Г/см^3$ Предел прочности: при растяжении в $КГ/мм^2$ при сжатии в $т/см^2$ Модуль упругости в $КГ/см^2$ Расщепляемость **** | 2,76—3,0 $\geq 16,6$ 8,3—12,5 ** (1,5+1,8) 10^6 Легкая | 2,78—2,85 16,0—22,3 3,0—6,0 *** (2,2+2,4) 10^6 Средняя | 2,7—3,1 — 3,0—4,5 ** — Трудная |
| Твердость по минераль- ной шкале Удельное объемное электросопротивление при комнатной темпе- ратуре в $ом\cdot см$ ***** Диэлектрический коэф- фициент | 2,0—2,5 8,6·10 ¹⁴ —4,9·10 ¹⁵ 2,5—10,0 | 2,5—3 5,1·10 ¹³ —1,6·10 ¹⁴ 2,5—10,0 | 2,5—3 5,0·10 ¹⁰ —1,16·10 ¹² 2,5—10,0 |
| Теплоемкость в $ккал\ ^\circ C$ Температура плавления в $^\circ C$ Теплопроводность в $кал\cdot см\cdot сек\ ^\circ C$ Теплостойкость в $^\circ C$ | 0,2049 1255—1260 0,00110—0,00134 525 (при 580° обнаруживается заметная потеря в весе) | — 1270—1330 0,00130—0,00165 700 (при 825° начинается заметная потеря в весе) | — 1145—1150 — Обладает большей теплостойкостью, чем флагопит |
| <p>* По отношению к ультракрасным и ультрафиолетовым лучам слюда прозрачна. Биотиты особенно прозрачны по отношению к ультракрасным, а мусковиты — к ультрафиолетовым лучам. ** Образец превращается в порошок. *** Образец расщепляется и после снятия давления вспучивается. **** Расщепляемость зависит от рода среды, соприкасающейся с вновь возникающими поверхностями: ксилол затрудняет, а вода облегчает расщепление. ***** В направлении плоскости слайки.</p> | | | |

смазки для машин, наполнителей электроизоляционных пластических масс, радиоприемников, телевизоров и др. Наибольшее практическое значение из минералов слюды имеют мусковит, флагопит, биотит и лепидолит. Применяются в молотом виде вермикулит и хлориты.

СТЕКЛО

Основным сырьем для производства стекла являются кремнезем SiO_2 в виде песка или кварцитов и плавни в виде известняка, соды или сульфата. В состав

оконного стекла, кроме этих основных компонентов, которые составляют около 95% (в пересчете на окислы), входят еще окись магния и окись алюминия. Специальные стекла (термостойкие, химически стойкие и др.) содержат также окислы бора, бария, цинка и другие.

Окраска стекол достигается преимущественно введением в состав стекла окислов металлов: кобальта (синяя окраска), меди (зеленая), перекиси марганца (фиолетовая) и др.

Различают стекло: простое (оконное, тарное, сортовое и т. п.) и техническое

(оптическое, зеркальное, армированное, светотехническое, термостойкое, химически стойкое и т. п.).

Свойства стекла

Основные физико-механические свойства стекла:

| | |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Удельный вес в $Г/см^3$ | 2,2—6,5 |
| Предел прочности в $кг/мм^2$: | |
| при растяжении | 3,5—8,5 |
| сжатии | 50—200 |
| изгибе | 2,5—7,5 |
| Модуль упругости в $кг/мм^2$ | 4800—8300 |
| Твердость по Моосу | 4—7,5 |
| Коэффициент линейного расширения (15—100°) | $5 \cdot 10^{-7}$ — $120 \cdot 10^{-7}$ |
| Теплопроводность в $кал/см \cdot сек \cdot ^\circ C$ | 0,0017—0,0032 |
| Темплоемкость в $кал/г \cdot ^\circ C$ | 0,08—0,25 |
| Температура размягчения в $^\circ C$ | 530—1130 |
| Термостойкость в $^\circ C$ | 80—250* |
| Коэффициент преломления | 1,46—2,0 |
| Объемное электросопротивление при $t=20^\circ$ в $ом \cdot см$ | 10^{12} — 10^{15} |
| Диэлектрическая постоянная | 3,75—16,5 |

Удельный вес стекла зависит от его химического состава, так, оконное стекло имеет удельный вес около 2,5, а стекло с 80% окиси свинца — 6,5.

Удельный вес стекла определяется с помощью пикнометра или приближенно по правилу слагаемости (аддитивности) из химического состава стекла [2].

Сильно закаленное стекло имеет меньший удельный вес, чем то же стекло, но хорошо отожженное.

Термические свойства. Коэффициент теплопроводности стекла весьма мал. Хорошими теплоизоляторами являются стекловата и пеностекло.

Коэффициент линейного расширения — важная характеристика стекла — зависит от химического состава. При спаивании стекла со стеклом или с металлом коэффициенты расширения спаиваемых предметов не должны отличаться более чем на 10%, в противном случае спай разрушается.

Термическая стойкость стекла измеряется числом градусов, на которое его можно внезапно охладить без разрушения. Стекло обладает низкой термостойкостью. Для работы в условиях резких изменений температуры создаются специальные типы термостойких стекол (боросиликатные, высокоглиноземистые и др.).

Термостойкость стекла зависит от ряда свойств (сопротивления разрыву, модуля упругости и др.), но может быть достаточно характеризована коэффициентом расширения.

* Термостойкость кварцевого стекла равна $1000^\circ C$.

Наиболее термостойкое стекло имеет наименьший коэффициент расширения. Термостойкое боросиликатное стекло имеет коэффициент расширения $32 \cdot 10^{-7}$, а кварцевое — $5 \cdot 10^{-7}$.

Механические свойства. Повышение механической прочности стекла достигается закалкой (при производстве стекла «сталинит»), применением специальных склеивающих эластичных прокладок (в автомобильном стекле — триплексе), армированием стальной проволокой, а также введением в состав стекла некоторых окислов (борного ангидрида, глинозема и др.).

Предел прочности при растяжении кварцевого стекла равен $12—12,5 кг/мм^2$. Прочность закаленного листового стекла в 6 раз выше прочности незакаленного. Большое влияние на прочность стекла оказывает также состояние поверхности; наличие микротрещин и царапин резко снижает прочность стекла.

Пределы прочности при растяжении и сжатии определяются на соответствующих машинах и могут быть также приближенно подсчитаны из химического состава стекла по правилу слагаемости

$$R = a_1 u_1 + a_2 u_2 + \dots + a_n u_n,$$

где a_1, a_2, \dots, a_n — процентное содержание окислов в стекле; u_1, u_2, \dots, u_n — соответствующие константы для сжатия и растяжения.

Предела прочности при изгибе зависит от термической обработки, состояния поверхности и состава стекла. Царапины на выпуклой стороне образца уменьшают сопротивление изгибу, а на вогнутой стороне — не оказывают влияния.

Твердость стекла наиболее точно измеряется по методу микротвердости. Значение микротвердости стекол лежит в пределах $400—780 кг/мм^2$.

Электрические свойства. Электропроводность стекла при нормальной температуре незначительна. В электромоторостроении применяется стеклянная ткань, которая почти не изменяет своих электроизолирующих свойств при повышенной температуре ($450^\circ C$ и выше).

Пробивное напряжение стекла колеблется от 10 до 30 $кв/мм$.

Диэлектрическая постоянная стекла зависит от состава и изменяется в широких пределах. Для кварцевого стекла эта величина составляет 3,75, боросиликатного — 4,8, а стекла с содержанием 78% окиси свинца — 16,1.

Чем меньше в составе стекла щелочных окислов, тем выше его электроизолирующие свойства, поэтому наилучшим диэлектриком является кварцевое стекло, в составе которого вовсе нет щелочных окислов.

Оптические свойства. Важнейшей оптической характеристикой является коэффициент преломления. Он колеблется от 1,46 (для кварцевого стекла) до 2,0 (для стекла с 80% окиси свинца). Оконное стекло имеет коэффициент преломления 1,52.

Показатель преломления стекла зависит от его химического состава; так, например, чем выше в стекле содержится окиси свинца, тем больше его показатель преломления

Введение в состав оптических стекол окислов редких элементов (лантана, тория, церия и др.) позволяет получать стекла с улучшенной оптической характеристикой. Особые сорта стекол обладают способностью селективно поглощать определенные лучи (сигнальные, защитные, медицинские и др.).

Отсекая при помощи таких стекол ту часть спектра, которая не нужна для данных целей, получают средство защиты от тепловых, ультрафиолетовых, рентгеновских и других лучей.

Оптические свойства стекла широко используются в оптическом приборостроении.

Химические свойства. Большинство промышленных стекол достаточно стойко

по отношению к воде и кислотам (за исключением плавиковой и фосфорной), но слабо сопротивляется действию щелочей. Химическая стойкость стекла зависит главным образом от состава. Стекла лабораторные, медицинские, водомерные, химической аппаратуры изготовляются из особых составов.

Кроме обычных стеклообразующих окислов, химически стойкие стекла содержат различное количество одного или нескольких следующих окислов: бора, алюминия, цинка, циркония и титана. Эти стекла также содержат пониженное количество щелочей.

Химический состав стекол приведен в табл. 25.

Для определения химической стойкости применяется порошоквый метод Института стекла [2]. Результаты испытания выражаются в мл 0,01*N* раствора HCl или в мг выщелачивающей Na₂O.

Классификация химической стойкости промышленного стекла приведена в ГОСТ 111-54.

Существует также способ определения химической стойкости стекол по их составу при помощи диаграмм [3].

Величина выщелачивания стойкого боросиликатного стекла типа пайрекс в процентах потери в весе при действии воды равна 0,01%; HCl (20—24%) — 0,018%; NaOH (2*N*) — 2,650%.

Свойства некоторых видов технического стекла приведены в табл. 26.

Таблица 25

Химический состав некоторых технических стекол

| | SiO ₂ | B ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | CaO | MgO | PbO | ZnO | BaO | Na ₂ O | K ₂ O |
|----------------------------------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|------|------|-------|------|------|-------------------|------------------|
| Листовое оконное | 71,0 | — | 1,5 | 8,5 | 3,0 | — | — | — | 15,8 | — |
| Оптическое . . | 47,65 | — | — | — | — | 45,70 | — | — | — | 6,40 |
| Лабораторное № 23 | 68,57 | 2,49 | 3,46 | 8,36 | 0,81 | — | — | — | 9,66 | 6,1 |
| Жаростойкое тип пайрекс . . | 80,5 | 10,5 | 2,5 | 2,0 | — | — | — | — | 4,5 | — |
| Тугоплавкое . . . | 86,0 | 10,0 | — | — | — | — | — | — | 4,0 | — |
| Водомерное . . . | 72,3 | 9,21 | 3,82 | 1,55 | — | — | 2,77 | — | 8,63 | 0,6 |
| Высокоглинозе- мистое | 57,4 | 3,2 | 23,6 | 4,7 | 8,7 | — | — | — | 1,9 | 0,5 |
| Термометрическое | 67,5 | 2,0 | 2,52 | 7,0 | — | — | 7,0 | — | 14,0 | — |
| Вольфрамовое . . | 78,5 | 14,0 | — | — | — | — | — | — | 5,5 | 1,5 |
| Бесщелочное . . | 63,3 | 15,0 | 3,5 | — | — | — | 4,2 | 12,0 | — | — |
| Стекловолокно . . | 53,0 | 12,0 | 12,0 | 17,0 | 4,0 | — | — | — | 2,0 | — |
| Кварцевое | 99,95 | — | 0,01 | 0,03 | 0,01 | — | — | — | 0,04 | — |

Свойства некоторых видов технического стекла

| Виды стекла | Удельный вес в $г/см^3$ | Предел прочности в $кг/мм^2$ | | Коэффициент линейного расширения* $\alpha \cdot 10^7$ | Температура размягчения в $^{\circ}C$ | Термостойкость в $^{\circ}C$ |
|------------------------------------|-------------------------|------------------------------|----------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|
| | | при сжатии | при растяжении | | | |
| Листовое оконное | 2,5 | 99,0 | 6,7 | 95,0 | 550 | 90 |
| Лабораторное № 23 | 2,45 | 105,0 | 6,9 | 88,0 | 570 | 135 |
| Жаростойкое типа пайрекс | 2,23 | 120,0 | 7,5 | 32,0 | 650 | 250 |
| Кварцевое | 2,2 | 197,0 | 12,0 | 5,0 | 1500 | 1000 |

* В интервале температур 15—100° С.

ЭМАЛИ

Эмаль представляет собой стеклообразный сплав, которым покрывают поверхности изделий для предохранения их от внешних воздействий и разрушения.

Техническими эмалями покрывают изделия из стали и чугуна (химическая, фармацевтическая, пищевая аппаратура, санитарно-технические приборы, листы для обшивки железнодорожных вагонов, части машин и т. п.) главным образом с целью защиты их от коррозии.

Эмали бывают окрашенными или бесцветными, прозрачными или непрозрачными.

Изделия рекомендуется последовательно покрывать двумя видами эмалей: одной, наносимой непосредственно на металл и называемой грунтовой эмалью, и другой — покровной эмалью, наносимой на предварительно обожженный грунт.

Грунтовая эмаль образует промежуточный слой между металлом и покровной эмалью, вследствие чего снижаются механические и термические напряжения, возникающие между металлом и эмалевым покровом.

При обжиге эмалированного изделия окислы стали частично переходят в

состав грунта, что отражается на его коэффициенте расширения.

Важное значение в эмалировочном производстве придается качеству покрываемого металла.

Для эмалирования обычно применяют декапированные сорта стали (ГОСТ 1386-47).

В табл. 27 приведен химический состав стали, применяемой в эмалировочном производстве.

Химический состав основных типов грунтовых эмалей по стали приведен в табл. 28.

Покровные эмали наносят мокрым (мокрая эмаль) или сухим (пудровая эмаль) путем. Расход эмали при мокром способе составляет 4—6% от веса изделий, а при сухом — 8—12%.

Мокрые эмали наносят преимущественно на изделия домашнего обихода. Ванны, котлы, кислотоупорную аппаратуру покрывают сухим способом. Покровная эмаль обычно наносится в два или даже три слоя. При этом каждый слой эмали подвергается обжигу. Без грунтовой эмали можно эмалировать изделия из меди, серебра и золота.

Химический состав наиболее употребительных покровных эмалей по стали приведен в табл. 29.

Таблица 27

Химический состав эмалируемой стали в % (Fe — остальное)

| Эмалируемая сталь | C | Mn | Si | S | P | Ti | Al | Cu |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Для рядовых изделий | 0,10—0,12 | 0,40—0,50 | 0,02—0,03 | 0,04—0,05 | 0,03—0,05 | — | — | — |
| Специальная | 0,05 | 0,03 | Следы | 0,035 | 0,005 | — | — | — |
| Титанистая | 0,02—0,05 | 0,30—0,40 | — | 0,01—0,03 | 0,01—0,06 | 0,02—0,04 | 0,05—0,12 | 0,01—0,07 |

Таблица 28

Химический состав грунтовых эмалей в весовых процентах

| Компоненты | № шихты | | | | | | | | | |
|--------------------------------|---------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| SiO ₂ | 47,0 | 49,0 | 48,0 | 43,50 | 50,53 | 52,17 | 53,60 | 54,54 | 55,40 | 65,02 |
| B ₂ O ₃ | 17,0 | 14,0 | 15,0 | 19,35 | 16,34 | 12,00 | 16,20 | 12,86 | 16,93 | 9,70 |
| Al ₂ O ₃ | 8,0 | 6,0 | 7,8 | 3,90 | 7,75 | 3,24 | 6,52 | 8,65 | 4,25 | 6,23 |
| K ₂ O | 6,0 | 8,0 | 6,8 | 8,40 | 2,38 | 3,28 | 7,80 | 2,49 | 5,35 | 1,65 |
| Na ₂ O | 14,0 | 12,0 | 13,4 | 15,20 | 15,07 | 19,31 | 7,16 | 14,45 | 12,95 | 11,71 |
| CaO | — | — | — | 4,15 | 0,23 | — | 1,40 | 0,27 | — | 0,17 |
| MgO | — | — | — | — | — | 2,50 | — | — | — | — |
| CaF ₂ | 5,0 | 8,0 | 6,0 | 3,75 | 6,81 | 7,00 | 6,35 | 6,00 | 3,30 | 4,83 |
| CoO | 1,0 | 1,0 | 1,0 | — | 0,22 | 0,20 | 0,06 | 0,30 | 0,18 | 0,20 |
| NiO | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,20 | — | — | 0,31 | — | — | — |
| MnO | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,55 | 0,67 | 0,30 | 0,60 | 0,44 | 1,54 | 0,49 |

Таблица 29

Химический состав покровных эмалей в весовых процентах

| Компо- ненты | № шихты | | | | | | | |
|--------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| SiO ₂ | 44,0 | 45,70 | 52,00 | 55,90 | 46,34 | 43,54 | 47,34 | 50,10 |
| B ₂ O ₃ | 10,95 | 9,90 | 9,40 | 7,60 | 10,00 | 7,13 | 12,0 | 9,05 |
| Al ₂ O ₃ | 7,12 | 5,65 | 6,50 | 7,10 | 7,13 | 7,0 | 4,76 | 9,70 |
| K ₂ O | 7,08 | 5,15 | 7,60 | 6,50 | 4,14 | 4,14 | 2,76 | 7,55 |
| Na ₂ O | 3,62 | 10,20 | 7,60 | 6,56 | 10,16 | 15,86 | 11,41 | 6,50 |
| MgO | — | — | — | — | — | — | 2,00 | — |
| NaF | 16,38 | 10,80 | 10,15 | 9,80 | 9,50 | 9,50 | 6,03 | 8,45 |
| AlF ₃ | 10,84 | 7,20 | 6,75 | 6,54 | 6,35 | 6,35 | 4,02 | 8,65 |
| CaF ₂ | — | 5,40 | — | — | 6,38 | 6,38 | 4,68 | — |
| ZrO ₂ | — | — | — | — | — | — | 5,00 | — |

Кислотоупорные эмали применяются для покрытия чугунной химической аппаратуры (ванны, автоклавы, реакторы, выпарные чаны, перегонные кубы).

Чугунная эмалированная аппаратура изготавливается из серого чугуна и покрывается кислотоупорными эмалями, отличающимися высоким содержанием глинозема и кремнезема.

Обладая хорошими механическими и термическими свойствами, а также высокой кислотостойкостью, эта аппаратура нашла широкое применение в ряде отраслей промышленности.

Состав шихты для кислотоупорных эмалей приведен в табл. 30.

При сухом способе эмалирования в качестве грунта для чугунной аппаратуры применяют фриттованный грунт, получаемый спеканием при 900—950° С.

Состав грунта в весовых частях: бура — 30, кварцевый песок — 40, полевой шпат — 30, сода — 8, плавиковый шпат — 4.

Для нанесения грунта готовят шликер состава (в весовых частях) фритты 100, кварцевого песка 15 и воды 50.

Таблица 30

Состав шихты для кислотоупорных эмалей для чугунной аппаратуры (в %)

| Компоненты | № шихты | | | | |
|----------------------------------|---------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Песок кварцевый | 50,5 | 53,2 | 51,6 | 50,0 | 52,0 |
| Каолин | 8,6 | 6,6 | 5,5 | — | — |
| Бура | 6,3 | 3,8 | 8,2 | 7,0 | — |
| Плавиковый шпат | — | — | 6,5 | 6,0 | 2,0 |
| Мел | 9,2 | 8,5 | — | — | 7,0 |
| Сода | 21,2 | 23,6 | 20,0 | 23,0 | 28,0 |
| Кремнефтористый натрий | 4,1 | 4,3 | — | — | 2,0 |
| Полевой шпат | — | — | 8,2 | — | — |
| Глина | — | — | — | 6,0 | 7,0 |
| Селитра | — | — | — | 5,0 | 2,0 |
| Сурьма | — | — | — | 3,0 | — |
| Окись цинка | — | — | — | — | — |

Состав кислотоупорных эмалей, разработанных Ленинградским государственным керамическим институтом (ГИКИ), приведен в табл. 31 и 32.

Таблица 31

Состав кислотоупорных эмалей (в %)

| Компоненты | № шихты | | |
|----------------------------|---------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Песок кварцевый | 39,8 | 43,8 | 48,9 |
| Полевой шпат | 20,1 | 15,6 | 3,7 |
| Каолин | 10,2 | 3,4 | — |
| Мел | 7,6 | 7,4 | 5,2 |
| Магнезит | 0,5 | 1,2 | 1,7 |
| Углекислый барий | 2,2 | — | — |
| Бура | 5,1 | 9,2 | — |
| Сода | 11,9 | 17,2 | 19,3 |
| Селитра | 2,6 | 2,2 | 3,1 |
| Поташ | — | — | 13,3 |
| Циркон | — | — | 2,4 |
| Титановые белила | — | — | 2,4 |

Таблица 32

Состав кислотоупорных эмалей
в весовых процентах

| Компо- ненты | № шихты | | | Компо- ненты | № шихты | | |
|--------------------------------|---------|------|------|-------------------------------|---------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | | 1 | 2 | 3 |
| SiO ₂ | 67,0 | 68,3 | 65,0 | Na ₂ O | 10,2 | 14,2 | 15,0 |
| Al ₂ O ₃ | 9,3 | 5,0 | 0,9 | K ₂ O | 4,0 | 3,2 | 10,1 |
| CaO | 5,1 | 5,1 | 3,0 | B ₂ O ₃ | 2,1 | 4,0 | — |
| MgO | 0,3 | 0,7 | 1,0 | ZrO ₂ | — | — | 2,0 |
| BaO | 2,0 | — | — | TiO ₂ | — | — | 3,0 |

класс Б — не ниже 1670° и класс В — не ниже 1610° С.

По химико-минералогическому составу огнеупоры разделяются на алюмосиликатные, полукислые, магnezильные, хромистые, углеродистые, цирконистые, окисные и карборундовые.

К алюмосиликатным огнеупорам относятся шамотные, высокоглиноземистые и полукислые.

Содержание Al₂O₃ в этих огнеупорах колеблется в пределах от 10—15%

Таблица 33

Химический состав эмалей для цветных и благородных металлов

| Эмаль | Эмалеобразующие окислы в весовых процентах | | | | | | | |
|------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------|------------------|-------------------|--------------------------------|------------------|
| | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | B ₂ O ₃ | PbO | K ₂ O | Na ₂ O | As ₂ O ₃ | SnO ₂ |
| Белая (ГИКИ) | 31,4 | 0,5 | 1,7 | 54,1 | 6,5 | 0,8 | 5,0 | — |
| Цветная для меди | 40,0 | — | — | 40,0 | 20,0 | — | — | — |
| Ювелирная для меди | 20—35 | — | 5—15 | 45,0 | — | 5,0 | — | — |
| Подкладочная для серебра | 30,0 | — | — | 40,0 | 30,0 | — | — | — |

Щелочеупорная эмаль. Щелочи значительно сильнее воздействуют на эмали, чем кислоты; их разрушительное действие увеличивается с повышением температуры.

Состав щелочеупорной эмали (в весовых частях): песок — 48; каолин — 12; плавиковый шпат — 2; окись цинка — 6; сода — 30; бура — 8; селитра — 2.

Химический состав щелочеупорной эмали (в весовых процентах): 50—60 SiO₂; 5—10 Al₂O₃; 18—20 Na₂O; 3—7 K₂O; 8—10 PbO; 4—6 ZnO; 1—3 MgO; 5—6 (NaF + AlF₃).

Эмали для цветных и благородных металлов должны быть легкоплавкими, что достигается повышенным содержанием свинца. Содержание красителей в цветных эмалях колеблется от 2 до 10%. Химический состав эмалей для цветных и благородных металлов приведен в табл. 33.

КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Огнеупоры

В зависимости от сопротивления действию высоких температур огнеупорные материалы (кирпич нормальный и изделия общего назначения) разделяются на три класса (ГОСТ 390-54): класс А с огнеупорностью не ниже 1730° С,

в полукислых и до 99—100% в высокоглиноземистых, корундовых огнеупорах.

Шамотные огнеупоры изготовляются из размолотых огнеупорных глин или каолинов и шамота (обожженной глины). Содержание шамота колеблется от 30 до 95%. Шамотные огнеупоры применяют для кладки термических и кузнечных печей, футеровки газогенераторов, обмуровки топок котлов и др. Свойства шамотных огнеупоров приведены в ГОСТ 390-54, ГОСТ 5500-50, ГОСТ 5341-50.

Высокоглиноземистые огнеупоры характеризуются содержанием Al₂O₃ свыше 45%. Они обладают более высокой химической в термической стойкостью, чем шамотные огнеупоры.

В зависимости от содержания Al₂O₃ они подразделяются на три класса: класс А содержит 45—60%, класс Б 60—75%, класс В более 75% Al₂O₃.

Повышение содержания Al₂O₃ в высокоглиноземистых изделиях увеличивает их шлакоустойчивость к основным и кислым шлакам.

Особенно большую шлакоустойчивость показывают чисто корундовые изделия (~99% Al₂O₃). Свойства высокоглиноземистых соединений приведены в табл. 34. Высокоглиноземистые огнеупоры применяют для футеровки электропечей, для изготовления головок

Таблица 34

Свойства высокоглиноземистых огнеупоров

| Огнеупоры | Температура плавления в °С | Начало деформации под нагрузкой 2 кг/см ² при t°С | Предел прочности при сжатии в кг/см ² | Пористость в % | Водопоглощаемость в % | Объемный вес в Г/см ³ | Удельный вес в Г/см ³ | Дополнительная усушка при 1500°С в % | Термическая стойкость (число теплосмен) |
|-----------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------|-----------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|
| Гидраты глинозема | 1790—1850 | 1450—1550 | 280—350 | 24—30 | 11—16 | 1,82 | 2,81—2,84 | 0,09—0,29 | 8—10 |
| Минералы (группы силлиманита, андалузита и кианита) | 1780—1880 | 1470—1600 | 715—1770 | 14—28 | 7—12 | 2,1—2,43 | 2,8—3,05 | 0,12—0,2 | 50—75 ** |
| Электроплавленный муллит | 1850—1880 | 1510—1720 | 1500—4000 | 0—1 | 0 | 2,68—3,18 | 3,1—3,4 | — | 8 *** |
| Корунд | 1720—1880 | 1510—1640 | 250—600 | 23—23 | 10—15 | 2,9—3,8 | — | 0,85 * | 5—14 ** |
| Зинтеркорунд | 2050 | 1730—1770 | 5000—6000 | — | — | — | — | — | — |

* При содержании 65% корунда и 35% огнеупорной глины.

** Нагрев до 850° и охлаждение в проточной воде.

*** Нагрев до 1350° и охлаждение на воздухе.

мартеновских печей, стаканов для разливки высококачественной стали, специальной химической аппаратуры и других изделий.

Полукислые огнеупоры изготавливаются из огнеупорных глин с добавкой кварца или кварцевого песка или из огнеупорных глин, содержащих кварцевый песок.

Содержание Al₂O₃ и TiO₂ в этих огнеупорах превышает 30%. Огнеупорность этих изделий не ниже 1610° и обычно не более 1650—1700°.

К полукислым огнеупорным изделиям относят: а) кварцево-глинистые, б) шамотные полукислые и в) кварцево-шамотные. Эти огнеупоры применяются для сталеразливного и ковшового припасов и других целей

Состав и свойства полукислых огнеупоров приведены в ГОСТ 4873-49, ГОСТ 1599-53, ГОСТ 4978-49, ГОСТ 881-41, ГОСТ 3272-46.

Кремнеземистые огнеупоры (динасовые) содержат не менее 93% SiO₂; они изготавливаются из кварцевых пород на известковой или иной связке с температурой обжига, способствующей полиморфному превращению кремнезема в тримит и кристобалит.

Динасы применяются для бессемеровских конвертеров, электросталеплавильных, мартеновских и других печей. Он обладает высокой устойчивостью против кислот и кислых шлаков и большой термической стойкостью, при высоких температурах. Ниже 600°С термические свойства его ухудшаются. Состав и свойства динасовых огнеупоров приведены в ГОСТ 4157-48, ГОСТ 1566-50, ГОСТ 3910-47, ТУ МЧМ 528-46.

К магnezиальным огнеупорам относятся магнезитовые, доломитовые, форстеритовые и шпинельные.

Магнезитовые огнеупоры готовят из MgCO₃. Они обладают высокой огнеупорностью (2000°С) и хорошо противостоят действию расплавленных металлов и шлаков. Термическая стойкость этих огнеупоров недостаточна (3—5 теплосмен). Ввод около 30% хромита повышает их термическую стойкость (40—50 теплосмен).

Магнезитовые огнеупоры применяют главным образом в металлургических печах, работающих на основном процессе. Подины и стены в мартеновских и электросталеплавильных печах (основных) выкладываются из магнезитовых огнеупоров.

Таблица 35

Свойства шпинельных и магнезитовых огнеупоров

| Тип огнеупоров или изделия | Предел проч- сжатия в кг/см ² | Объемный вес в г/см ³ | Пористость в % | Температура де- формации в °С под нагрузкой 2 кг/см ² | | Термостой- кость в тепло- сменах | Химический состав в % | | | | | Потери при окалянии в % |
|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|----------------------------|
| | | | | начало | разруше- ние | | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | |
| Шпинельные | | | | | | | | | | | | |
| Шпинельные на базе гли- нозема | 500 | 2,65—2,95 | 17—25 | 1600—1650 и выше | 30—40* | 3,1 | 65,2 | 1,1 | 2,3 | 1,3 | 26,7 | 0,3 |
| Хромитовые на форстери- товой связке | 300—700 | 3,0—3,2 | 16—19 | 1570—1660 | 9—20* | 9,1 | 11,1 | 31,8 | 22,8 | Следы | 24,5 | 0,3 |
| Хромомагнезитовые | 200—400 | 2,85 | 23,0 | 1450—1520 | 7—8** | 5,8 | 6,8 | 17,2 | 13,5 | 1,6 | 54,9 | 0,2 |
| Безбюгитовые хромомаг- незитовые | 250—300 | 2,85 | 20,0 | 1360 | 10—15** | 6,4 | 7,4 | 17,6 | 11,6 | 1,9 | 50,4 | 2,1 |
| Ралекс Е* | 150—250 | 2,95 | — | 1550—1600 | 70* | 6,3 | 7,5 | 34,1 | 13,0 | 1,0 | 38,0 | — |
| Магнезитовые | | | | | | | | | | | | |
| Магнезитовый кирпич Сад- кинского завода | 450—650 | 2,6—2,7 | 25—27 | 1550—1600 | 49 | 2,4 | — | — | 2,6*** | 1,7—2 | 92—94 | 0,3 |
| Термостойкий магнезито- вый кирпич на шпинель- ной связке | 500—900 | 2,8—3,0 | 13,5—20,3 | 1520—1630 | Выше 100 | 2,1—4,8 | 5—12,3 | — | 2,1—5,6 | 1,0—2,7 | 80,4—84,2 | 0,4 |
| Магнезитовый кирпич «Ра- декс А» | 300—600 | 2,9—3,0 | 14,7—16,3 | 1500—1600 | 70 | 2—3,5 | 4,7—7,3 | — | 3,4—6,1 | 1,1—2,8 | 80,1—84,2 | 0,2 |
| Изделия из плавленого магнезита | 570—700 | 2,8—3,0 | 13,5—20,0 | 1630 | — | 1,0 | — | — | 3,0*** | 0,7 | 95,0 | 0,3 |

* Воздушное охлаждение.

** Волновое охлаждение.

*** Fe₂O₃ + Al₂O₃.

Магнетитовые кирпичи в стенах электропечей часто заменяют блоками, полученными набивкой из металлургического порошка. Стойкость этих блоков в 2—3 раза больше, чем магнетитового кирпича.

Термостойкие магнетитовые огнеупоры применяются для выкладки зоны спекания цементнообжигательных печей.

При разливе стали, особенно большими ковшами, применяют магнетитовые стаканы. Обожженный магнетит применяют в качестве металлургического порошка. Состав, свойства и допуски по размерам магнетитовых и шпинельных огнеупоров приведены в ГОСТ 4689-49 и в табл. 35.

Доломитовые огнеупоры готовят из обожженного до спекания доломита с различными органическими или неорганическими связками; они применяются в виде металлургического порошка или кирпича для футеровки основных мартеновских и электрических сталеплавильных печей, вращающихся печей для обжига цемента, в цветной металлургии.

Кислые шлаки действуют разрушающим образом на доломитовые огнеупоры.

К хромистым огнеупорам относятся огнеупоры хромитовые и хромомагнетитовые. Их готовят из магнетита и хромита в различных соотношениях. Они обладают высокой огнеупорностью, постоянством объема и химической нейтральностью.

К углеродсодержащим огнеупорам относят карборундовые, глинисто-графитовые и углеродистые.

Углеродсодержащие огнеупоры характеризуются высокой огнеупорностью, постоянством объема при высоких температурах и практически не плавятся. В окислительной среде они разлагаются. Эти огнеупоры отличаются высокой тепло- и электропроводностью.

Карборундовые огнеупоры с добавкой 5—10% огнеупорной глины имеют огнеупорность 1900—1980°, а начало деформации под нагрузкой 2 кг/см² происходит при 1750—1850°С.

Они обладают высокой огнеупорностью, твердостью (9,5—9,75 по минеральной шкале), теплопроводностью и низким коэффициентом расширения.

Теплопроводность карборунда в 5—10 раз превышает теплопроводность других огнеупорных материалов, а твер-

дость в 10—12 раз больше твердости шамотных изделий.

Карборундовые огнеупорные изделия хорошо сопротивляются действию расплавленного кремнезема, но плохо противостоят действию расплавленных металлов.

Карборундовые огнеупоры применяют для изготовления высококачественных огнеупорных изделий (абразивного материала для шлифовальных кругов, огнеупорных плит, муфель для туннельных печей, подов коксовых печей).

Материалы из карборунда широко применяются также в электротехнической промышленности для изготовления высокоомных сопротивлений для электрических печей.

Химические составы огнеупорных изделий с различным составом карборунда (SiC) приведены в табл. 36.

Таблица 36

| Свойства | Огнеупорные изделия из карборунда | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | № состава | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Пористость объемная в % | 34,1 | 33,8 | 29,8 | 18,4 | 20,7 |
| Химический состав в % | | | | | |
| П. П. П. в % | 0,17 | — | — | 0,88 | 0,24 |
| SiO ₂ . . . | 8,00 | 4,50 | 5,30 | 14,72 | 23,31 |
| SiC | 91,30 | 93,20 | 92,50 | 81,60 | 69,30 |
| Al ₂ O ₃ . . . | 0,20 | 1,30 | 1,08 | 1,47 | 5,58 |
| Fe ₂ O ₃ . . . | 0,33 | 1,00 | 1,12 | 1,33 | 1,57 |

Глинисто-графитовые огнеупоры изготавливаются из огнеупорной пластичной глины (до 70%) и графита (до 30%) с добавкой шамота или без такового. Они применяются главным образом для изготовления тиглей, пробок, футеровочного кирпича для сталеразливных ковшей и других целей. Эти огнеупоры обладают большой стойкостью против разъедающего действия металла.

Состав и свойства глинисто-графитовых стаканов см. ГОСТ 5500-50

Углеродистые огнеупоры с добавкой около 5—10% огнеупорной глины имеют огнеупорность выше 2000°С, а начало деформации под нагрузкой 2 кг/см² при *t* выше 2000°С.

Содержание углерода колеблется от 85 до 90%. Углеродистые огнеупоры

применяются в печах для плавки цветных металлов и их сплавов. Чистый углерод можно практически считать неплавким. Однако он легко окисляется при сравнительно низких температурах

Цирконистые и другие специальные огнеупоры, нитриды и карбиды обладают огнеупорностью в 3000°С и более.

Действующие стандарты и технические условия на огнеупорные изделия приведены в табл. 37.

Кислотоупорные керамические изделия

Кислотоупорные керамические изделия характеризуются плотным спекшимся черепком, большой прочностью при сжатии и разрыве, газо-непроницаемостью, износостойкостью и химической устойчивостью к действию кислот. Кислотоупорная аппаратура устойчива к действию соляной, серной, азотной, фосфорной и других кислот (кроме плавиковой) различной концентрации и при различных температурах.

Таблица 37

Действующие стандарты и технические условия на огнеупорные изделия

| Изделия | Стандарты и технические условия | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------|
| | по размерам | по составу и свойствам |
| <i>Шамотные</i> | | |
| Фасонные общего назначения | — | ГОСТ 390-54 |
| Для разливки стали из ковша | Ст 5 ГУМП 3690 38 | ГОСТ 5500-50 |
| Для футеровки: топок котлов ГРЭС и ТЭЦ (каолиновые) | ГУНКЧМ и НКЭС ТУНКЧМ и НКЭС | 113-41 |
| котлов паровозов (каолиновые), сталеразличочных ковшей (много шамотные) | | 112-41 |
| | Ст 5 ГУМП 3690 38 | ГОСТ 5341-50 |
| Для кладки печей: доменных (многошамотные) | Ст 5 ГУМП 3690 38 | ГОСТ 1598-53 |
| мартезовских (многошамотные) | | ГОСТ 390-54 |
| стекловаренных (многошамотные) | ГОСТ 7151-54 | ГОСТ 390-54 |
| Кирпич нормальный | ГОСТ 389-41 | ГОСТ 390-54 |
| <i>Шамотные и полукислые</i> | | |
| Для кладки печей: мартезовских | ГОСТ 6024-51 ГОСТ 390-54 | ГОСТ 4873-49 |
| коксовых | | ГОСТ 4873-49 |
| | | Ст 5 ГУМП 3125 — 37 |
| нагревательных | ГОСТ 4247-48 | ГОСТ 390-54 |
| Для кладки кауперов | ГОСТ 1599-53 | ГОСТ 1599 53 |
| Для разливки стали | ГОСТ 5498-50 | ГОСТ 4978-49 |
| Для футеровки: сталеразличочных ковшей | ГОСТ 5341-50 ГОСТ 3272-46 | ГОСТ 5341-50 |
| вагранок | | ГОСТ 3272-46 |
| топок паровозов | Ст 5 ГУМП 2581 — 36 | ГОСТ 881-41 |
| Фасонные общего назначения | ГОСТ 389-41 | ГОСТ 4873-49 |
| Тугоплавкие | | ГОСТ 4157-48 |
| Кирпич нормальный | | ГОСТ 1566-50 |
| Динасовые | | ТУЭМЧМ 871 48 и 528-46 |
| Для кладки печей: мартезовских | ГОСТ 6024-51 | ГОСТ 3910-47 |
| электроплавильных | — | ГОСТ 4157-48 |
| коксовых | — | ГОСТ 4157-48 |
| стекловаренных | — | ГОСТ 4157-48 |
| Фасонные общего назначения | — | ГОСТ 4157-48 |
| Кирпич нормальный | ГОСТ 389-41 | ГОСТ 4157-48 |
| <i>Высокоогнеупорные</i> | | |
| магнезитовые | — | ГОСТ 4689-49 |
| хромомагнезитовые | — | ГОСТ 5381-50 |

Таблица 38

Состав и свойства кислотоупорных изделий

| Изделия | Химический состав в % | | | | | Пористость в % | Объемный вес в $Г/см^3$ | Предел прочности при сжатии в $кг/см^2$ (не менее) | Твердость по минеральной шкале | Кислотостойкость в % | Морозостойкость в теплосменах (от -17 до +17° С) |
|---------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|-------------|----------------|----------------|-------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------|
| | SiO_2 | Al_2O_3 | Fe_2O_3 | $CaO + MgO$ | $Na_2O + K_2O$ | | | | | | |
| Кирпич кислотоупорный . . . | 51—70 | 15—25 | 1—5 | 1—2,5 | 0,5—2 | 2—2,8 | 1,9—2,2 | 700 | 5—7 | 97—98,5 | 25 |
| Плитки кислотоупорные | 51—70 | 22—34 | 1—5 | 1—2,5 | 0,5—2 | 2—2,5 | 2—2,3 | 1000 | 6—7 | 98—99,5 | 20 |
| Кольца насадочные (Рашига) . | 50—70 | 22—34 | 0,5—5 | 1—7,5 | 0,5—5 | 2—6 | 2—2,2 | 500 | 5—7 | 97—99,5 | 25 |
| Химическая аппаратура | 50—65 | 22—35 | 0,5—1,5 | 0,4—2,0 | 0,5—2,0 | 2—6 | 2—2,5 | 700 | 5—7 | 98—99,5 | 25 |

Кислотоупорная керамика применяется в химическом машиностроении (насосы, эксгаустеры, туриллы, мешалки, вакуум-аппараты, змеевики-холодильники, выпарные и вакуум-котлы, ванны, насадочный и футеровочный материал), в целлюлозно-бумажном машиностроении (футеровка автоклавов и прочего оборудования). По своим свойствам, методу изготовления и назначению кислотоупорные изделия подразделяются на полутонкие, тонкие (аппаратура) и грубые (футеровочный насадочный материал, трубы).

Все кислотоупорные изделия покрывают соляной или легкоплавкой глинисто-полевошпатной глазурью.

Состав и свойства кислотоупорных изделий приведены в табл. 38.

Технический фарфор

Фарфор характеризуется спекшимся, плотным черепком, высокими механической и термической стойкостью, диэлектрическими свойствами, нечувствительностью к атмосферным явлениям и длительным срокам службы.

Основным сырьем для производства фарфора являются каолин, высококачественная огнеупорная, пластичная глина, полевок шпат, кварц, или кварцевый песок. Свойства технического фарфора приведены в табл. 39.

Техническая фарфоровая аппаратура изготавливается из фарфоровой массы и имеет хорошо обожженный однородный плотный спекшийся черепок без посто-

ронных включений. Изделия газонепроницаемы, устойчивы против действия кислот (кроме плавиковой) и допускают резкий перепад температуры от 200 до 20° С.

Допуски по размерам не должны превышать $\pm 5\%$. Стрела прогиба должна быть меньше 1% от длины изделия.

Изделия, наполненные жидкостью, независимо от осадка в ней, и нагретые до 200° С, при медленном охлаждении не должны давать трещин. Технические условия, размеры, способы испытания фарфоровой технической аппаратуры приведены в ГОСТ 861-55. При 6-часовом кипячении в дистиллированной воде разница между весом после кипячения и первоначальным весом не должна превышать 0,5%.

Из технического фарфора изготавливают следующие изделия:

нutch-фильтры различных конструкций емкостью от 30 до 170 л для фильтрации кислых, щелочных и нейтральных растворов в холодном и нагретом (до 350° С) состоянии;

вакуум-аппараты и котлы для выпаривания кислых, щелочных и нейтральных растворов при повышенном и атмосферном давлении емкостью до 170 л, весом от 6 до 80 кг;

ванны четырехугольные для электролиза и других работ, где требуются электроизоляционные свойства, а также ретроградаторы, сосуды для травильных работ, краны, кипяточные баки, шнековые ножи, змеевики и др.

Таблица 39

| Фарфор | Терпкость по минеральной шкале | Огнеупорность в °С | Удельный вес в г/см³ | Объемный вес в г/см³ | Водопоглощение в % | Диэлектрическая постоянная | Пробивная напряженность в кв/км | Коэффициент линейного расширения (от 20 до 700° С) α · 10⁶ | Термическая стойкость в температурах (непрерывная работа до 170° С) | Предел прочности неглазурированного фарфора в кг/см² | |
|-------------------------|--------------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------|
| | | | | | | | | | | при ударном изгибе | при сжатии |
| Высоковольтный . . . | 7 | 1580 | 2,50 | 2,40—2,45 | 0,0 | 8,5 | 14 | 3,75 | 6—8 | 1,8—2,0 | 4500—5000 |
| Низковольтный . . . | 6 | 1580 | 2,48 | 2,2 | 0,0—0,3 | 5,8 | — | 3,80 | 6—8 | 1,8 | 4000 |
| Установочный . . . | 6 | 1560 | 2,48 | 2,25 | 0,0—0,3 | 5,7 | — | 3,80 | 6—8 | 1,8 | 3500—3600 |
| Химически стойкий . . . | 7 | 1660 | 2,50 | 2,32 | 0,0 | 8,0 | 14 | 3,40 | 10 | 1,8 | 5000 |
| Термостойкий . . . | 6 | 1700 | 2,60 | 2,5 | 0,0—0,3 | 9,46 | 12 | — | 20—30 | 2,2 | 4000 |
| Пирометрический . . . | 7 | 1670 | 2,60 | 2,43—2,45 | 0,0—0,1 | 12,4 | 8 | 4,10 | 6—8 | 2,5 | 5000—5200 |
| Высокопрочный . . . | 7 | 1620 | 2,60 | 2,56—2,60 | 0,0—0,1 | 9,65 | 14 | 3,90 | 6—8 | 2,5 | 6600—7000 |

Таблица 40

Свойства и область применения установочной радиокаерамики

| Свойства | Радиофарфор | Пирофильтровый керамика | Ультрафарфор | Радиостеатит | Алюминоксида | Цирконовый фарфор |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| | | | | | | |
| Диэлектрическая проницаемость . . . | 5,6—6,5 | 5,5—6,0 | 6,5—7,0 | 6,0—6,5 | 9—10 | 9,3 |
| Температурный коэффициент диэлектрической проницаемости на 1°С . . . | (2 + 3) · 10 ⁻⁴ | 4 · 10 ⁻⁴ | (1,0 + 1,2) · 10 ⁻⁴ | — | (1,2 + 1,5) · 10 ⁻⁴ | — |
| Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 1—3 мГц при 20—25°С . . . | 0,003—0,006 | 0,005—0,007 | 0,0005—0,001 | 0,003—0,0009 | 0,0001—0,0005 | 0,0011 |
| Температура начала сильного роста угла диэлектрических потерь в °С . . . | 150—190 | 100—110 | — | — | 450 | — |
| Удельное объемное сопротивление при 20—25°С в ом·см . . . | 10 ¹² —10 ¹³ | 10 ¹⁰ —10 ¹¹ | 10 ¹⁰ | — | 10 ¹⁰ | — |
| Электрическая прочность при 20—25°С и при частоте 50 гц в кв/мм . . . | 15—20 | 15—20 | 15—30 | 23—25 | 15 | — |
| Удельное поверхностное сопротивление при 20—25°С и относительной влажности атмосферы 70% в ом . . . | 10 ¹¹ —10 ¹² | 10 ¹¹ —10 ¹² | 10 ¹² | 2,5—2,6 | 10 ¹² | — |
| Удельный вес в г/см³ . . . | 2,5—2,6 | 2,5 | 2,9 | — | 3,8 | 3,68 |
| Коэффициент линейного расширения . . . | 4 · 10 ⁻⁶ | (5 + 10) · 10 ⁻⁶ | 4,5 · 10 ⁻⁶ | 7 · 10 ⁻⁶ | 7 · 10 ⁻⁶ | 4,9 · 10 ⁻⁶ |
| Предел прочности при растяжении в кг/см² . . . | 100—300 | 100—180 | 100—450 | 450—600 | 600 | 900 |
| Предел прочности при сжатии в кг/см² . . . | 500—700 | 500—700 | 1200—1400 | 1200—1600 | 1200—2000 | 1750 |
| Теплопроводность в кал/см·сек·°С . . . | 4000—5000 | 4000—5000 | 6000—8000 | 6000—8000 | 8000—10000 | 6500 |
| Область применения — установочные детали . . . | Мелкие | Мелкие и средние | Установочные радиолампы | Крупные, а также контурные конденсаторы | Мелкие и средние | Специальные |

Радио керамика

Установочная керамика для мелких, средних и крупных деталей, контурных конденсаторов, блокировок изготовляется из глинистой, глинозем-глинистой, талько-магнезиальной и глиноземистой керамики.

Основные свойства установочной керамики приведены в табл. 40.

Конденсаторная керамика для компенсирующих контурных, блокировочных конденсаторов, а также для конденсаторов стабильных колебательных контуров малой мощности отличается повышенной диэлектрической проницаемостью.

Основные свойства конденсаторной керамики приведены в табл. 41.

Вакуумная керамика для внутритрамповой изоляции изготовляется на основе магнезиально-силикатной композиции с добавлением глины или на основе гли-

нозема или муллита. Свойства вакуумной керамики приведены в табл. 42.

Специальная радио керамика с малым коэффициентом расширения для дугупорных высоковольтных изоляторов, радиодеталей высокой термостабильности и других изделий изготовляется на основе алюмомагнезиальных силикатов структуры кордиерита ($2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot X \cdot 5SiO_2$).

Свойства специальной радио керамики

| | |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Диэлектрическая проницаемость при частоте 1 мГц | 4,1—5,0 |
| Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 1 мГц | 0,004 |
| Удельное объемное сопротивление при 300°С в ом·см | $5 \cdot 10^9 - 8 \cdot 10^9$ |
| Предел прочности в кг/см ² : | |
| при растяжении | 100—250 |
| при сжатии | 1000—2700 |
| Коэффициент линейного расширения: | |
| в интервале 20—100°С | $(1,2 \div 1,5) \cdot 10^{-6}$ |
| в интервале 20—600°С | $(2,5 \div 2,8) \cdot 10^{-6}$ |
| Теплопроводность в кал/см·сек·°С | 0,003 |
| Удельный вес в г/см ³ | 2,1 |
| Водопоглощаемость в % | 1—8 |

Таблица 41

Свойства конденсаторной керамики [1]: [5]

| Свойства | Керамика | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------|
| | Тиконд Т-80 | Тиконд Т-60 | Тиконд Т-30 | Тиконд Т-25 | Термоконд ТК-М | Титано-бариевая |
| Угол диэлектрических потерь при радиочастотах в мин.: | | | | | | |
| при $t = 20^\circ \text{C}$ | 1—2 | 1—2 | 2—3 | 1—2 | 1—2 | 50—70 |
| при $t = 100^\circ \text{C}$ | 2—4 | 2—4 | 3—4 | 2—3 | 2—3 | — |
| Диэлектрическая проницаемость | 75—80 | 55—60 | 15—30 | 25—30 | 20—25 | 1000—6000 |
| Температурный коэффициент диэлектрической проницаемости в 10^{-6} | $-(730 \pm 70)$ | $-(570 \pm 70)$ | $-(300 \pm 70)$ | $-(130 \pm 50)$ | $-(50 \pm 30)$ | — |
| Удельное объемное сопротивление в ом·см: | | | | | | |
| при $t = 100^\circ \text{C}$ | $10^{12} - 10^{13}$ | $10^{12} - 10^{13}$ | $5 \cdot 10^{12} - 5 \cdot 10^{13}$ | $10^{12} - 10^{13}$ | $10^{13} - 5 \cdot 10^{13}$ | 10^{11} |
| при $t = 300^\circ \text{C}$ | $10^9 - 10^{10}$ | $10^9 - 5 \cdot 10^9$ | $5 \cdot 10^9 - 10^{10}$ | $10^{10} - 5 \cdot 10^{10}$ | $10^{10} - 5 \cdot 10^7$ | $5 \cdot 10^7$ |
| Средняя пробивная напряженность в кв/см | 100 | 100 | 100 | 100 | 100—150 | 20—40 |
| Плотность в г/см ³ | 3,9 | 3,8 | 3,3 | 3,9 | 4,0 | 5,0 |
| Предел прочности при изгибе в кг/см ² | 1000—1300 | 1000—1200 | 1000—1200 | 800—1000 | 1000—1200 | — |
| Коэффициент линейного расширения | $7,5 \cdot 10^{-6}$ | $7,5 \cdot 10^{-6}$ | $6,5 \cdot 10^{-6}$ | $6,4 \cdot 10^{-6}$ | $5,8 \cdot 10^{-6}$ | — |

Свойства вакуумной керамики

| Свойства | Пористый алюминоксид | Пористый радиостеатит |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------|
| Диэлектрическая проницаемость | 5—6 | 4—5 |
| Угол потерь при радиочастотах в мин. $t = 20^\circ \text{C}$ | 0,5—1 | 0,1—1,5 |
| Температурный коэффициент диэлектрической проницаемости в пределах 200—300° | $140 \cdot 10^{-6}$ | — |
| Удельное объемное сопротивление при $t=100^\circ \text{C}$ в <i>ом. см.</i> | 10^{18} | 10^{13} |
| Плотность в Г/см^3 | 2,5 | 2,0 |
| Предел прочности при изгибе в кг/см^2 | 600—800 | 350—550 |
| Ударная вязкость в кгсм/см^2 | 2—3 | 1,5—2,0 |
| Коэффициент линейного расширения | $5,5 \cdot 10^{-6}$ | $8 \cdot 10^{-6}$ |
| Водопоглощаемость в % | 10—15 | 10—15 |

ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

По своему назначению лакокрасочные материалы разделяются на основные (грунты, шпаклевки, эмалевые и масляные краски, лаки) и вспомогательные (олифы, сиккативы, разжижители, полировочные и шлифовочные пасты и др.).

Характеристика применяемых в машиностроении грунтов приведена в табл. 43.

Характеристики шпаклевок приведены в табл. 44.

Эмалевые краски готовятся путем растирания пигментов с лаком.

Различают эмалевые краски на лаках: а) масляных и глифталевых; б) из эфиров целлюлозы; в) из перхлорвиниловых смол и т. п.

Характеристики эмалевых красок приведены в табл. 45.

Масляные краски изготавливаются растиранием сухих пигментов с высыхающими и полувсыхающими маслами

или олифами и выпускаются в пастообразном (густотертом) виде.

Перед употреблением краски разводятся до рабочей вязкости олифой (см. т. 5 гл. XII).

Характеристики масляных красок приведены в табл. 46

Лаки для защиты от воздействия внешних сред и декоративной отделки различных изделий применяют масляные, нитроцеллюлозные и спиртовые.

Масляные лаки помимо высыхающих масел содержат смолы, которые определяют свойства лаковых пленок. Нитроцеллюлозные лаки содержат обычно синтетические смолы. Спиртовые лаки представляют собой раствор смол в спирте.

Характеристики лаков приведены в табл. 47.

Вспомогательные материалы, применяемые при подготовке поверхности под окраску для разжижения эмалевых и масляных красок и для шлифования и полирования лакокрасочных покрытий, приведены в табл. 48—50.

Таблица 41

Характеристика шпаклевок

| Наименование шпаклевки | Цвет | Марка | Стандарт или технические условия | Область применения | Высыхание | | Растворитель |
|-----------------------------------------|----------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| | | | | | Температура в °С | Продолжительность в час. | |
| Масляно-клеевая | Светлосерый | Приготавливается на месте работы | — | По железу под масляные и лаковые покрытия | 18—20 | 12 | Мела 65 частей, олифы — 20, охры — 10, сажи — 2 и 6%-ного раствора клея — 3 |
| Масляно-клеевая (полумасляная) | Светложелтый | То же | — | По дереву для внутренних и наружных работ | 180 | 12 | Мела 60 частей, охры — 14, олифы — 12, сажи — 2 и 6%-ного раствора клея — 12 |
| Лаковая | Темнокрасный | АМ | ТУ МХП 3954-53 | Подмазка и сплошное нанесение на загрунтованные детали из алюминиевого литья, чугуна и стали | 100 | 1 | Олифа или лаковая разведка от 5 до 20% |
| | Не нормируется | ЛШ-1 и ЛШ-2 | ВТУ МХП 1805-48 | Нанесение на загрунтованные внутренние поверхности вагонов, автобусов и троллейбусов | 18—23 | 24 | Олифа или лаковая разведка от 5 до 15% |
| Глифталевая (для автозаводов) | — | 185 | ТУ МХП 331-41 | Выравнивание металлических поверхностей после грунта № 138 | 100—110 | 1 | Скипидар, уайт-спирит 5—10% |
| Подмазка эмульсионная (для автозаводов) | — | 201 | ТУ МХП 265-41 | Заполнение пор и царапин на грунте | 100—110 | 1 | То же |
| Нитроцеллюлозная | Светлосерый | АШ-30 | ТУ МХП 953-42 | Подмазка и сплошное нанесение на деревянные детали | 18—23 | 2,5 | Нитрокрейль вязкостью 35—40 сек. до 20% |
| | Светлозеленый | АШ-32 | ТУ МХП 1516-47 | То же | 18—23 | 2,5 | То же |

Таблица 45

Характеристика эмалевых красок

| Наименование красок | Цвет | Марка или номер | Стандарт или технические условия | Основные свойства | | | | Область применения |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | | Вязкость в сек. при 20° С по вискозиметру Ф-36, сошло № 2 | Температура высыхания в °С | Время высыхания в час. | Эластичность по шкале НИЛК в мм | |
| Фиксоловые | Всех цветов * | — | ГОСТ 7462-55 | 50—90 | 20 | ≤28 | 1 | Железнодорожные и трамвайные вагоны, автобусы и изделия, подвергающиеся воздействию атмосферы |
| Лакоэмалевые | Коричневый ** Зеленый ** Черный ** Голубой ** Серый ** | A-21M A-24M A-26M A-28M A-32M | ТУ 1022-43 ТУ 674-44 ТУ 671-44 ТУ 954-44 ТУ 1021-43 | 18—30 | 18—23 70—80 | 30 3 | 1 | Внешние металлические поверхности машин |
| • | Зеленый * Голубой * | A-24Г A-28Г | ТУ 1316-45 ТУ 1351-46 | 18—30 | 18—23 70—80 | 30 3 | 1 | То же |
| • | Светлосерый * Алюминиевый * | A-36Г AЭ-8 | — — | 18—30 | 18—23 70—80 | 30 3 | 1 | " |
| Глифталевые | Желтый * Зеленый * Коричневый * Синий * Красный * Стальной * | A-6Ф A-7Ф A-8Ф A-10Ф A-13Ф A-14Ф | ТУ МХП 2556-51 | 20—30 | 18—23 70—80 | 30 3 | 1 | Дуралиминовые и стальные трубопроводы, баки и детали |
| • | Черный * Серо-голубой * | 2086-Ф AM-4 | 173 АМТУ 174 АМТУ | 6—12 20—31 | 100 80 | 2,5 3,5 | 1 | Двигатели |
| Глифталевые (тракторные) | Хаки * | — | ТУ МХП 558-41 | 12 | 100—110 | 50 мин. | 1 | То же |
| Глифталевые и масляные | Серо-стальной * Коричневый * | — | — | — | 100 100 | 1 1 | 1 1 | Чугунные и стальные детали тракторов Корпусы тракторов Колеса |
| | Всех цветов * | ВСХ КСХ ФСХ | ГОСТ 926-52 | 6—14 | 18—23 80 | 36—48 1,5—2 | — — | Деревянные и металлические части сельскохозяйственных машин |

* Блеск глянцевый. ** Матовый.

Продолжение табл. 45

| Наименование красок | Цвет | Марка или номер | Стандарт или технические условия | Вязкость в сек. при 20° С по вискозиметру Ф-36, кондо № 2 | Основные свойства | | | | Область применения |
|---------------------------------|---------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------|
| | | | | | Температура высыхания в °С | Время высыхания | Эластичность по шкале НИЛК в мм | | |
| Цветные „Муар“ | Бежевая | № 4 | ТУ МХП 1702-49 | По вискозиметру Ф-36 при 18-20°С не менее 20 сек. | 80 | 12-14 | — | Декоративная отделка приборов | |
| | Коричневая | № 9 | То же | — | 80 | 12-14 | — | То же | |
| | Защитная | № 10 | — | — | 80 | 12-14 | — | — | |
| | Зеленая | № 12 | — | — | 80 | 12-14 | — | — | |
| | Голубая | № 15 | — | — | 80 | 12-14 | — | — | |
| | Синяя | № 16 | — | — | 80 | 12-14 | — | — | |
| | Вишневая | № 20 | — | — | 80 | 12-14 | — | — | |
| | Красная | № 21 | — | — | 80 | 12-14 | — | — | |
| | Серая | № 24 | — | — | 80 | 12-14 | — | — | |
| | Черная | № 25 | ТУ МХП 1478-48 | 25 | 160 | 1,5-2 | — | — | |
| Мочевинформальдегидные | Под слововую кость, | УЭ2 | ТУ МХП 2531-53 | — | 120 | 50 | 1 | Велосипеды | |
| | Кремовая | УЭ3 | То же | — | 120 | 50 | 1 | — | |
| | Темнобежевая | УЭ4 | — | — | 120 | 50 | 1 | — | |
| | Светлокофейная | УЭ8 | — | — | 120 | 50 | 1 | — | |
| | Темнокофейная | УЭ9 | — | — | 120 | 50 | 1 | — | |
| | Салатная | УЭ11 | — | — | 120 | 50 | 1 | — | |
| | Зеленая | УЭ13 | — | — | 120 | 50 | 1 | — | |
| | Темнозеленая | УЭ14 | — | — | 120 | 50 | 1 | — | |
| | Голубая | УЭ15 | — | — | 120 | 50 | 1 | — | |
| | Синяя | УЭ16 | — | — | 120 | 50 | 1 | — | |
| Мочевиномеламиноформальдегидная | Вишневая | УЭ20 | — | — | 120 | 50 | 1 | — | |
| | Фиштакшковая | УЭ27 | — | — | 120 | 50 | 1 | — | |
| | Электрик | УЭ30 | — | — | 120 | 50 | 1 | — | |
| | Светлобежевая | УЭ40 | — | — | 120 | 50 | 1 | — | |
| | Бирюзовая | УЭ110 | — | — | 120 | 50 | 1 | — | |
| | Белая | У-311 | ВТУ 2582-51 | Вязкость по вискозиметру ВЗ-4 при 18-20°С не менее 4 сек | 100 | 60 | — | Типовые холодильники | |

Продолжение табл. 45

| Наименование красок | Цвет | Марка или номер | Стандарт или технические условия | Основные свойства | | | | Область применения |
|---------------------------------------|---------------|-----------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | | Вязкость в сек. при 20° С по вискозиметру Ф-36, компа № 2 | Температура высушивания в °С | Время высыхания в час. | Эластичность по шкале НИЛК в мм | |
| Глифталевые (для автобусов) | Всех цветов * | — | TU МХП 264-41 | — | 100—110 | 1 | 3 | Кузовы и детали автобусов То же малолитражных машин Металлические приборы и инструменты То же * * * * * Циферблаты часов и манометров Деревянные и металлические части сельскохозяйственных машин Вагоны железнодорожные, трамвайные, метро- и электропоездов, автобусы и троллейбусы Внешние поверхности деревянных и тканевых обшивок Металлические детали, не подверженные действию атмосферы |
| Глифталевые (для малолитражных машин) | То же | — | TU МХП 515-41 | — | 100—110 | 1 | 1 | |
| Глифталевые (общепотребительные) | Серый *** | 1425 | TU МХП 761-41 | 10 | 80 | 1,5 | 3 | |
| То же | Зеленый *** | 1426 | TU МХП 1130-44 | 12 | 100 | 2,5 | 1 | |
| | Черный * | 1427 | TU МХП 918-42 | 14 | 100 | 2,5 | 1 | |
| | Черный *** | 2062 | TU МХП 1400-45 | 20 | 80 | 2,5 | 1 | |
| | То же | 2085 | TU МХП 910-41 | 10 | 150 | 1,5 | 1 | |
| | Черный ** | 2086 | TU МХП 788-41 | 4 | 150 | 1,5 | 1 | |
| | Белый | 2087 | TU МХП 789-41 | 3 | 150 | 1,5 | 3 | |
| | Всех цветов * | 1013 | TU МХП 557-49 | 10 | 60—65 | 1,5 | 5 | |
| | | ВСХ | } ГОСТ 926-52 | 10—15 | 18—23 | 36—48 | — | |
| | | КСХ | | 80 | 1,5 | 48 | 1 | |
| Пентафталевые эмали | То же | С. № 57 по 68 | TU МХП 1302-48 | 20 | 18—23 | 48 | 1 | |
| Нитроцеллюлозные | Коричневый ** | АМТ-1 | TU МХП 1008-43 | } 12—16 | 18—23 | 1 | Не должны распределяться до разрыва | |
| | Зеленый | АМТ-4 | TU МХП 678-41 | | | | | |
| | Черный | АМТ-5 | TU МХП 679-41 | | | | | |
| | Голубой | АМТ-7 | TU МХП 795-41 | | | | | |
| | Серый | АМТ-11 | TU МХП 1007-43 | | | | | |
| | Темносерый | АМТ-12 | TU МХП 1007-43 | | | | | |
| | Светлосерый | АМТ-16 | TU МХП 1003-43 | | | | | |
| | Зеленый * | АГТ-4 | } TU МХП 1610-54 | | | | | |
| | Голубой * | АГТ-7 | | | | | | |
| | Светлосерый * | АГТ-16 | | | | | | |
| Всех цветов * | ДМ | TU МХП 520-54 | 12—16 | 18—23 | 1 | 3 | | |

* Блеск глянцевый. ** Матовый. *** Полуглянцевый.

| Наименование красок | Цвет | Марка или номер | Стандарт или технические условия | Основные свойства | | | | Область применения |
|--------------------------|-------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| | | | | Вязкость в сек. при 20° С по вискозиметру ФЭ-36, сопо № 2 | Температура высухания в °С | Время высыхания в час. | Эластичность по шкале НИЛК в ММ | |
| Нитроцеллюлозные | Серо-голубой | МВ-1 и МВ-2 | ТУ МХП 1326-45 | 8-16 | 18-23 | 1 | 1 | Детали авиадвигателей То же |
| " | Оранжевый | МВ-3 и МВ-4 | ТУ МХП 1325-45 | 12-16 | 18-20 | ≤10 | ≤3 | |
| " | Черный | МВ-109 | ТУ МХП 1284-45 | 30 | 18-20 | ≤8 мин. | — | Кабины, облицовочные детали грузовых машин и двигатели грузовых машин |
| То же (автомобильные) | Защитно-зеленый | МВ-6 | ТУ МХП 764-43 | — | 18-20 | ≤8 мин. | — | Шасси и другие легали грузовых автомашин |
| " | Черный ** | 660 | ГОСТ 5753-51 | — | 18-20 | 10 мин. | 1 | Автомобусы |
| " | Различных цветов* | — | ТУ МХП 1946-49 | 30 | 18-20 | ≤8 мин. | 3 | Кабины грузовых машин |
| Нитроглицерольные | Серо-зеленый | 907 | ОСТ 10927-40 | 9-11 | 18-20 | ≤8 мин. | 3 | То же |
| " | Серо-зеленый | 507 | ОСТ 10927-40 | 9-11 | 18-20 | ≤8 мин. | — | Части двигателя грузовых автомашин |
| " | Коричнево-красный | 624а | 7462-55 | 13-15 | 18-23 | ≤10 мин. | — | Верх кузова и детали под цвет кузова легковых автомашин |
| То же полируемые | Серый | 624с | 7462-55 | 13-15 | 18-23 | 2 | — | Защита деталей машин и аппаратуры от кислот |
| " | Всех цветов * | — | ТУ МХП 1086-48 | 21-25 | 18-23 | ≤3 | 1 | Корпусы судов |
| Перхлорвиниловые | Коричневый * | ХСЭ-26 | ВТУ МХП 1777-50 | 20-60 | 18-23 | ≤3 | 1 | Железные и деревянные поверхности судов |
| " | Белый * | ПХВ-1 | ТУ МХП 1663-47 | ≤25 | 18-23 | ≤3 | 1 | То же |
| " | Красный * | ПХВ-21 | ТУ МХП 1633-51 | ≤25 | 18-23 | ≤3 | 1 | Деревянная обшивка товарных вагонов |
| " | Светлопаровый * | ПХВ-29 | ТУ МХП 1633-51 | ≤25 | 18-23 | ≤3 | 1 | Сельскохозяйственные машины |
| " | Шаровый * | ПХВ-30 | ТУ МХП 1465-47 | ≤25 | 18-29 | ≤3 | 1 | Кабины и другие облицовочные детали грузовых автомашин |
| " | Красный * | ПХВ-26 | ТУ МХП 1383-46 | ≤25 | 18-29 | ≤3 | 1 | Деревянные платформы грузовых автомашин |
| " | Зеленый * | ПХВ-14 | ТУ НКХП 256-43 | 25 | 85 | ≤50 мин. | — | То же |
| " | Голубой * | ПХВ-15 | ТУ НКХП 259-43 | 25 | 85 | ≤40 мин. | — | Радиторы автомашин |
| " | Серый * | ПХВ-23 | ТУ НКХП 259-43 | 40 | 65-80 | 1 | 3 | |
| Эмульсионные масляные*** | — | ЗИС-1 | ТУ НКХП 259-43 | 50 | 100 | ≤40 мин. | — | |
| То же | Зеленый ** | ЗИС-3 | ТУ НКХП 259-43 | 40 | 65-80 | 1 | 3 | |
| Эмульсионные глифтавые | То же | 4БГ | ТУ НКХП 516-41 | — | — | — | — | |
| Битумные | Черный ** | Н 122 | ТУ НКХП 277-49 | — | — | — | — | |

* Блеск глянцевый. ** Полуглянцевый.

Таблица 46

Характеристика масляных красок

| Наименование и цвет красок | Стандарт или технические условия | Основные свойства | | Область применения |
|-----------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| | | Укрывистость в Г/м ² (готовой к употреблению краски) | Степень растира в ЛМ | |
| Белила свинцовые * белые | ОСТ НКТП 8190/1187 | 210—310 | — | Покрытие с повышенной долговечностью Наружная и внутренняя окраска металла и дерева |
| Белила цинковые * белые | ГОСТ 482-41 | 170 | 10—20 | |
| Белила литопные * белые | ГОСТ 6075-51 | 160—190 | 10—22 | Внутренние работы при окраске металла и дерева Составление цветных колеров |
| Крон свинцовый № 1 * желтый | — | — | — | |
| То же № 2 * | — | — | — | То же |
| Мумия * красная | ОСТ 18163-39 | 65—95 | 35 | Покрытие по металлу и дереву в вагоностроении |
| Зелень * | ОСТ 10941-40 | 45—80 | 25—35 | Окраска наружной металлической и деревянной обшивки вагонов и паркоходов |
| Масляные камуфляжные *: защитные | ГОСТ 5785-51 | 200 | 40 | Маскировка машин |
| темнокоричневые | — | 60 | — | — |
| песочные | — | 110 | — | — |
| Черные малярные * | ГОСТ 6586-53 | 30 | 20 | Окраска паровозов, станин машин и других промышленных изделий |

Пр и м е ч а н и е. Твердость, определенная маятником для красок на железном сурике, мумии и зелени, равна 0,12—0,15.

* Температура высыхания 18—20° С, время высыхания 24 часа.

Характеристика лаков

| Наименование марки и цвет лака | Стандарт или технические условия | Основные свойства | | | Область применения | | | |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----|---|
| | | Температура высухания в °С | Время высухания в час. | Эластичность по шкале НИЛК в мм | | | | |
| Масляный № 1—9 . . . | ГОСТ 5470-50 | 18—20 | 48—120 | 3—15 | Поверхности тракторов, станков и в качестве первого слоя по масляной краске № 4 и 5 для деревянных изделий | | | |
| То же черный № 10 | ГОСТ 5470-50 | 120 | 2 | 3 | | | | |
| Масляный № 17А . . . | ТУ МХП 1187-44 | 18—23 | ≤48 | 1 | Металлические изделия, подвергающиеся после покрытия сушке при высокой температуре | | | |
| „ № 74 . . . | ГОСТ 6807-53 | 18—23 | 20 | 1 | | | | |
| Масляный „Мороз“ светлозеленый № 331 | ТУ МХП 1045-43 | 60 | 25 мин. | — | Вагоны (по дереву и металлу) | | | |
| То же пентафтале-вый № 170 | ТУ МХП 1308-45 | 18—23 | 72 | 1 | Изготовление подмазочной массы | | | |
| То же (изоляционный) № 202 темнокоричневый | ТУ МХП 1058-43 | 200—210 | ≤12 мин. | — | Отделка неметаллических поверхностей | | | |
| Масляный (изоляционный) № 1154 светложелтый | ТУ МХП 1013-43 | 80—90 | 12 | — | По масляной краске и дуралюмину | | | |
| Битумный кислото-стойкий черный № 411 | ГОСТ 1347-41 | 18—23 | 48 | 3 | Пропитка деталей электромашин и трансформаторных катушек | | | |
| То же 102/19 | | 200 | 50 мин. | 1 | Поверхности аккумуляторов | | | |
| „ 2318 | | 200 | | 2 | | 3 | | |
| Битумный № 13 изоляционный черный | ТУ МХП 1145-44 | 18—23 | 3 | — | Окраска двигателей | | | |
| Битумный № 177 . . . | ГОСТ 5631-51 | 18—23 | 24 | 5 | То же | | | |
| То же № 458 | ТУ МХП 1014-49 ТУ МХП 563-41 | 100—110 | 13—15 | — | Пропитка полюсных катушек | | | |
| „ № 460 | | | | — | | Пропитка обмоток электромашин | | |
| „ № 319 | | | | 80—90 | | | 12 | — |
| „ № 447 | | | | 100—110 | | | 8 | — |
| Битумный черный Ч-2 | ГОСТ 2347-43 | 200 | 50 мин. | 1 | Пропитка якорей и статоров электромашин | | | |
| То же 67 | ГОСТ 312-43 | 18—23 | | 2 | | 1 | | |
| „ 35 и 350 | ГОСТ 350-41 | 18—23 | | 24 | | — | | |
| Нитроцеллюлозный светлый АВ-4 д/в | ТУ МХП 1324-45 | 18—23 | 1 | 1 | Детали автомашин, мотоциклов и велосипедов | | | |
| Нитроцеллюлозный черный МВ-6 . . . | ТУ МХП 1127-44 | 18—23 | 1 | 1 | Металлические изделия | | | |
| Нитроцеллюлозный № 930 | ТУ МХП 270-41 | 18—23 | 10 мин. | 5 | То же | | | |
| Спиртовый (мебельный) № 1 красный | ТУ МХП 176-40 | 18—23 | 15 „ | — | Металлические и деревянные поверхности, окрашенные нитроэмалями | | | |
| То же светложелтый № 2 | | 18—23 | 15 „ | — | Лакировка деталей двигателей по нитроокраске | | | |
| То же черный № 4 | | 18—23 | 15 „ | — | Отделка под дерево | | | |
| Резольный № 86 . . . | ТУ МХП 735-41 | — | — | — | По дереву | | | |
| | | | | | То же | | | |
| | | | | | Химически стойкие и бензостойкие покрытия | | | |

Таблица 48

Характеристика олиф для разбавления масляных красок

| Наименование | Цвет по иодометрической шкале | Стандарт или технические условия | Вязкость в усл. град. при 20° С | Кислотное число не более | Иодное число не более | Отстой за 24 часа в % по объему | Содержание растворителя в % по весу |
|------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| <i>Олифы натуральные</i> | | | | | | | |
| Олифа льняная * | 489 | ОСТ НКПП 520 | 7—10 | 7 | 160 | 1 | — |
| „ конопляная * | 1820 | ОСТ НКПП 520 | 7—10 | 8 | 150 | 1 | — |
| „ конопляная осветленная * | От желтого до темно-вишневого | ОСТ 964 | 7 | — | — | 2 | — |
| <i>Олифы полунатуральные</i> | | | | | | | |
| Олифа ИМС * | 686 | ОСТ НКТП 7476/583 | 6—8 | 6 | — | 1 | 46 |
| „ „Оксьоль” * | — | ОСТ НКТП 7474/581 | 6—8 | 6 | — | 1 | 45 |
| „ „Оксьоль-смесь” * | 827 | ГОСТ 190-41 | 7—10 | 6 | — | 1 | 45 |

* Высыхание при 20° С за 24 часа.

Таблица 49

Характеристика сиккативов для ускорения высыхания олиф, масляных лаков, эмалей и красок

| Наименование сиккатива | Стандарт или технические условия | Высыхание сырого льняного масла при 20° С за 24 часа при добавлении сиккатива в % | Отстой за 24 часа в % по объему |
|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| <i>Свинцово-марганцевые:</i> | | | |
| № 63 светлый | ГОСТ 1003-41 | 10 | 1 |
| № 64 темный | ГОСТ 1003-41 | — | — |
| <i>Нафтеновые:</i> | | | |
| экстракт № 1 | ТУХП 935-41 | 4 | 2 |
| „ № 2 | ТУХП 935-41 | 4 | 2 |

Таблица 50

Характеристики растворителей и разбавителей

| Наименование и марка | Стандарт или технические условия | Применяется для разбавления | Относительная летучесть (эфир — 1) | Температура кипения в °С |
|----------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| Разбавитель РДВ | ГОСТ 4399-48 | Нитролаков и нитроэмалей | — | — |
| Растворитель № 646 | ГОСТ 5630-51 | То же | — | — |
| То же № 647 | ГОСТ 4005-48 | „ | 8—12 | — |
| Разжижитель Р-4 | ТУ МХП 1414-46 | Перхлорвиниловых эмалей и лаков | — | — |
| „ Р-5 | ТУ МХП 2191-50 | То же | — | — |
| Сольвент | ГОСТ 1928-50 | Асфальтовых и битумных лаков | 21—28 | 120—180 |
| Уайт-спирит | ГОСТ 3134-52 | Лако-масляных эмалей | 40—60 | 160—200 |
| Ксилол | ОСТ 10465-39 | Глифталевых и пентафталевых эмалей в смеси с уайт-спиритом | 13,5 | 138 |
| Толуол | ГОСТ 4809-49 | То же | 6,1 | 110 |
| Этиловый спирт | ГОСТ 131-51 | Спиртовых и резольных лаков | 8,3 | 78 |

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

Древесина

1. Ванин С. И., Древесиноведение, Гослесбуиздат, 1949.
2. Кишкин С. Т. и Чулицкий Н. Н., Авиационное материаловедение, ч. II. Древесина, Оборонгиз, 1941.
3. Куликов И. В., Допуски и предельные калибры в деревообработке, Гослесбуиздат, 1952.
4. Леонтьев Н. Л., Упругие деформации древесины, Гослесбуиздат, 1952.
5. Перелыгин Л. М., Энциклопедический справочник „Машиностроение“, т. 4, Машгиз, 1947.
6. Перелыгин Л. М., Древесиноведение, Гослесбуиздат, 1949.

Пластмассы

1. Лосев И. П. и Петров Г. С., Химия искусственных смол, Госхимиздат, 1951.
2. Аврасин Я. Д., „Пластмассы“, Справочник машиностроения, том II, глава VIII, Машгиз, Москва 1952.
3. Поляков К. А., Неметаллические химически стойкие материалы, Госхимиздат, Москва 1952.
4. Пик И. Ш., Прессовочные и подделочные пластические материалы, Москва 1951.
5. Яманов С. А. и Смирнов С. А., Справочник по изоляционным материалам для радио-промышленности, Госэнергоиздат, Москва 1947.

Клеи

1. А. Л. Козловский, Синтетические клеи, Гизместроп, Москва 1947.
2. Сакаров М. Д. и Шер Ю. М., Клеи и склеивание древесины, Когиз, 1953.

Стекло

1. Китайгородский И. И., под ред. Технология стекла, Промстройиздат, 1951.
2. Ботвинкин О. К., под ред. Практикум по контролю производства стекла, Гизлегпром, 1939.
3. Матвеев М. А., Клейменов Б. А., Расчеты по технологии стекла, Гизлегпром, 1933.
4. Царицын М. А., Техническое стекло и его производство, Гизлегпром, 1939.

Керамические материалы

1. Богородицкий Н. П. и Фридберг И. Д., Высококачественные неорганические диэлектрики, „Советское радио“, 1948.
2. Будников П. П., Технология керамики и огнеупоров, Промстройиздат, 1950.
3. Гросс Т. О., Огнеупорные материалы, Техническая энциклопедия, М. 1941.
4. Дудеров Г. Н., Общая технология силикатов, ч. III, изд. 1949 г.
5. Мамыкин П. С., Служба динасовых огнеупоров в промышленных печах, Металлургиздат, 1946.
6. Сканава Т. И., Радиокерамические материалы, Госэнергоиздат, 1948.

Лакокрасочные материалы

1. Дринберг А. Я., Технология пленкообразующих веществ, Госхимиздат, 1948.
2. Киселев В. С., Олифы и лаки, Госхимиздат, 1940.
3. Энциклопедический справочник „Машиностроение“, т. 4, Машгиз, 1947.

*ПРЕДМЕТНЫЙ АЛФАВИТНЫЙ
УКАЗАТЕЛЬ
к 1—6 томам
СПРАВОЧНИКА
МАШИНОСТРОИТЕЛЯ*

А

- Абак Декарта 1—315
 Абразивные инструменты 5—395, 408, 409
 Абразивные материалы 5—395, 397, 417
 Абразивный износ механизмов 1—439
 Абсолютная погрешность предельная 1—65
 Абсолютная температура 2—2
 Абсциссы 1—238, 249
 Авогадро закон 2—45
 Автоколебания 3—346
 Автоматы контрольные 4—40
 — одношпиндельные для обработки мелких валов 5—499
 Автосварочная аппаратура 5—183
 Автоскрепление труб 3—288
 Автотрансформаторы 2—393
 Автоэлектронная эмиссия 2—360
 Агрегаты сварочные — см. *Сварочные агрегаты*
 Адиабатический процесс 2—48, 520
 Адиабатическое истечение газа 2—90
 — жидкости 2—90
 Адиабатическое расширение газов 2—49
 Адьюнкты 1—115
 Азот — Определение в стали 6—54, 55
 — Растворимость в чистых металлах 2—323
 — Тепловые свойства 2—20, 21
 Азотирование 5—686; — Влияние на предел выносливости 3—469, 470
 — стали — Режимы 5—687
 Азот-закись — Тепловые свойства 2—28
 Азот-окись — Тепловые свойства 2—25
 Аистова тензометры 3—491
 Аккумуляторные батареи свинцовые стартерные 2—358
 Аккумуляторы 2—357—360
 — кислотные 2—357
 — свинцовые (кислотные) 2—357, 358
 — щелочные 2—359, 360
 Аксальные счетчики скоростные 2—497
 Активная составляющая тока 2—340
 Акустика 2—254—268
 Акустические материалы 2—260
 Акустические фильтры 2—268
 Акустические явления — Слуховое восприятие 2—256
 Алгебра векторная 1—226
 Алгебраические уравнения 1—118
 — Решение приближенное по методу Лобачевского 1—129
 Алгебраические функции 1—90
 Алмазно-металлические карандаши 5—411
 Алмазы — Вес — Индексы 5—412
 Алфавит греческий 1—5
 — латинский 1—5
 Альтернирование тензора 1—236
 Алюминиевая бронза — см. *Бронзы алюминиевые*
 Алюминиевые сплавы — см. *Сплавы алюминиевые*
 Алюминий — Анализ 6—49
 — Классификация 6—298
 — Сварка атомно-водородная — Режимы 5—220
 — Сварка газовая 5—203
 — Стойкость коррозионная 6—297
 — Угар 5—56
 Алюминий в чушках — Классификация 6—298
 — технический — Свойства 6—296
 Американские меры — Перевод в метрические 1—536
 Аммиак — Свойства 2—97, 98
 Амортизаторы 3—352; 6—359
 Амортизационные пружины 2—266
 Амортизация 2—266
 Амперметры — Включение — Схема 2—373
 Амплитуды 2—388
 Амплитуды вибрации — Определение 3—382
 — колебаний 1—98; — Уменьшение 3—351
 — колебаний вынужденных 3—337
 Анализ векторный 1—230
 — гармонический 1—312
 — дилатометрический 6—58
 — рентгеноструктурный 6—59
 — спектральный 6—50
 — структурный 6—59, 61
 — термический 6—55
 — термомангнитный 6—62

- фазовый электрохимический 6—52
- химический 6—45, 48
- Анализаторы 3—522
- структурные 6—61, 62
- Аналитическая геометрия 1—238—257
- в пространстве 1—249
- на плоскости 1—238
- Аналитическая статика 1—366
- Аналитические функции 1—197, 200
- Аналитическое выражение функций приближенное 1—305—313
- Ангидрид сернистый — Пары насыщенные — Свойства 2—97, 99
- Тепловые свойства 2—29
- Английская система мер 1—536
- Английские фунты — Перевод в килограммы 1—542
- Анизометры магнитные 6—63
- Анионитовые фильтры — Регенерация 2—202
- Анодно-механическая обработка металлов 5—641
- Аноды для гальванических покрытий — Расход 5—728
- Антивибраторы 3—352
- Антикоррозийное азотирование 5—687
- Антилогарифмирование 1—78
- Антирезонансная частота 3—362
- Антифрикционные металлокерамические материалы 6—319
- Антифрикционные сплавы 6—270
- Антрацит донецкий 2—177
- Аполония теорема 1—243
- Апохроматы 2—243
- Аппаратура автосварочная 5—183
- для измерения деформаций 3—490, 492, 493, 495, 498
- для металлизации 5—731
- измерительная 1—415
- сигнализации 2—436
- тензоизмерительная 3—489
- электрическая 2—433—448
- Аппараты — Обозначения в элементных схемах 2—437
- атомно-водородные 5—215
- для газовой металлизации 5—733
- для изучения коррозии 6—93, 94
- сварочные 5—181, 184, 215
- Аппликаты 1—249
- Апретурные диафрагмы 2—233
- Апретурные лучи 2—234
- Апретурные углы 2—233
- Аргон — Характеристика 5—209
- Арифметическая прогрессия 1—80
- Арифметические действия 1—63
- Арифметические ряды 1—80
- Арифмометры 1—340
- Арки трехшарнирные 1—143
- Аркасинус 1—99
- Арксинус 1—99
- Арктангенс 1—99
- Арматура для присоединения гибких проволочных валов 4—177
- типа задвижек 4—746
- Арматура трубопроводов 4—735—748
- вентиляного типа — Прочность — Расчет 4—743
- литая — Стенки — Толщина 4—745
- чугунная 4—735
- Армирование пластмасс 5—591
- Арона схема включения ваттметра 2—374
- Архимеда закон 2—459
- Архимеда спираль 1—274, 275
- Архимедовы винтовые поверхности 1—299
- Асбест 6—364
- Асботекстолит 6—342
- Асимметричный цикл переменных напряжений 3—448
- Асимптоты 1—251
- гиперболы 1—245
- Асинхронные двигатели — Механические характеристики 2—415
- краново-металлургические МТ и МТК — Характеристика 2—416
- однофазные 2—397
- с двойной клеткой Доливо-Добровольского 2—396
- с короткозамкнутым ротором 2—395, 396, 397, 402, 405, 406, 418, 430, 439, 441
- трехфазные 2—393—396
- Астроида 1—281
- Асфальто-пековая масса 6—345
- Атомно-водородная сварка — см. *Сварка атомно-водородная*
- Атомно-водородные аппараты 5—215
- Атомные константы 2—271
- Атомный вес 2—271
- Атомный радиус чистых металлов 2—319
- Атомы — Радиусы 2—273, 276; — Электроотрицательность 2—273
- невозбужденные — Электронные оболочки — Строение 2—272
- Аустенит 6—105, 108
- Аустенитометры 6—62
- Афанасьева метод расчета коэффициентов концентрации 3—417
- Аффикс 1—84
- Ахроматические клинья 2—230
- Ахроматические окуляры 2—241
- Ахроматы 2—243
- Ацетилен — Тепловые свойства 2—34
- Характеристика 5—198
- Аэродинамические коэффициенты 2—518

Б

- Баббиты** 4—275; 6—270, 271, 272
 — Анализ 6—49
База измерения 4—38
Базена формула 2—485
Базы тензометров 3—489
Бакелит 3—22
Балаидина гипотеза о сопротивлении разрушению 3—435
Балансировка деталей динамическая 5—560
 — статическая 1—422; 5—558, 559
Балансировочные машины — Схемы 1—424; 5—561, 562, 563
Балинит 6—345
 — Сверление 5—610
 — Фрезерование — Скорость резания 5—613
Балки — Высота 4—671
 — Грузоподъемность 3—276
 — Изгиб 3—50, 104, 106, 107
 — Коэффициент концентрации — Определение 3—418
 — Кручение 4—683
 — Нагрузки допускаемые 3—91, 273
 — Напряжения 3—86
 — Напряжения главные 3—89, 90
 — Напряжения и деформации от кручения 4—682
 — Несущая способность 3—273
 — Прогиб 3—69, 96, 105, 124, 272, 273
 — Прочность при изгибе 3—106
 — Растяжение с изгибом 3—105
 — Расчет на жесткость 3—95
 — Расчет на прочность 3—86
 — Сечения 4—670, 671
 — Размеры — Определение 3—90
 — Сопротивление сложное 3—101
 — Устойчивость плоской формы изгиба 3—325
 — Устойчивость при поперечном изгибе 3—186
Балки бесконечно длинные — Расчет 3—75
 — двутавровые 6—181; — Геометрический фактор жесткости 3—326; — Напряжения касательные при изгибе 3—88; — Статический момент 3—276; — Центр изгиба 3—103; — Опрокидывание 3—329
 — двутавровые прокатные — Геометрические характеристики 3—171
 — двутавровые с полками постоянной толщины — Напряжения и угол закручивания при кручении 3—32
 — двухопорные с равномерно распределенной массой — Колебания — Формы 3—371
 — двухпролетные — Нагрузка предельная 3—276
 — из разнородных материалов 3—94, 95
 — клинообразные 3—92
 — конические 3—92
 — консольные — Опорные реакции 3—56—66
 — консольные при ударе — Масса приведенная 3—400
 — любой длины с нагрузкой — Расчет 3—78
Балки клепаные 4—674
 — Стыки 4—675
Балки многопролетные 3—66—68
 — на жестких опорах 3—66; — Расчет 3—73
 — на сплошном упругом основании — Расчет 3—74
 — на упруго оседающих опорах — Расчет 3—73
 — неразрезные — Расчет 3—68, 73
 — постоянного сечения — Уравнения трех моментов 3—66
Балки на двух опорах 3—275
 — на упругом основании при неподвижной нагрузке 3—66
 — ограниченной длины, нагруженные произвольно — Расчет 3—77
 — однопролетные 3—64—66; — Изгибающий момент 3—50; — Опорные реакции 3—56—66
 — однопролетные защемленные — Опорные реакции — Формулы 3—55
 — переменного сечения 3—92; — Формулы 3—56—59
 — пластмассовые — Расчет 3—95
 — подкрановые — Устойчивость — Пример расчета 3—187
 — полубесконечные — Расчет 3—75
 — постоянного сечения 3—60—63, 86, 87, 89
 — постоянной жесткости — Прогиб — Дополнительные влияния 3—97
 — прокатные 3—31
 — простые — Линии влияния 3—79
 — прямоугольного сечения двухопорные — Прогиб 3—273
 — равного сопротивления изгибу 3—92
 — с двумя грузами 3—78
 — с защемленными концами — Линии влияния 3—80
 — с любым направлением сосредоточенных сил, перпендикулярных к оси 3—53

- с отверстием изгибаемые 3—405
- с подвижной нагрузкой 3—78
- сварные 4—671—674; — Конструирование 4—670
- со значительной высотой сечения 3—91
- со сосредоточенными моментами 3—53
- со сосредоточенными силами 3—52
- со ступенчатым изменением сечения 3—94
- статически неопределимые 3—80
- статически определимые 3—51, 54, 56—59, 276
- тарифовочные 3—498
- фиктивные и действительные — Схемы 3—99
- Баллоны аммиачные** 5—219
- водородные 5—217
- Балочные конструкции** — Перемещение — Определение 3—151
- Бараны** — Оболочка — Запас прочности 4—776, 777
- для стальных канатов — Размеры 4—775, 776
- для цепей и канатов 4—775
- Барометры** 2—455
- Батареи** 2—356, 358
- Батарейные манометры** 2—456
- Белила** 6—391
- Беляева гипотеза ползучести** 3—292
- старения 3—293
- Бензин** — Характеристика 5—198
- Бензол** — Тепловые свойства 2—35
- Бентонитовые глины** 5—2
- Бернули теорема** 1—329
- уравнение 1—208; 2—463, 464, 465, 498, 505, 519, 520
- Бернардского метод расчета рам** 3—165
- Бесселевы функции** 1—58, 222, 223, 311
- Бесселя уравнение** 1—221
- формула 1—303
- Бесшпоночные соединения** 4—604—609
- Бетон** — Свойства 3—22
- Биели** 4—36, 37
- делительной окружности, допускаемое у прямозубых колес при шевинговании 5—387
- радиальное — Пример записей на поле чертежа 4—816
- торцевое — Пример записей на поле чертежа 4—813
- Бикарбонат** 2—202
- Биквадратные уравнения** 1—121
- Биметаллические изгибаемые полосы** 3—95
- Бимомент** 3—174, 175
- инерции двутавров 3—171
- инерции тонкостенных стержней 3—178, 179
- инерции швеллеров 3—172
- сопротивления двутавров 3—171
- сопротивления швеллеров 3—172
- Бинарные установки ртутно-водяные** — Схемы 2—95
- Бинарные циклы паросиловых установок** 2—95
- Бинокли** — Объективы 2—240
- Бином Ньютона** 1—74—76
- Биномиальные ряды** 1—152
- Биномиальный закон распределения вероятности** 1—323
- Биномиальный коэффициент** 1—74, 75, 80
- Таблицы 1—40
- Биномы дифференциальные** — Интегрирование 1—161
- Бинормали** 1—284
- Био критерий** 2—130
- Био** — Фурье закон 2—116
- Биотит** 6—371
- Биссектрисы углов, образованных двумя прямыми** — Уравнение 1—242
- Блазиуса формула** 2—471
- Блоки** 4—773—775
- Бобышки в отливках** 5—85
- Бойля** — Мариотта уравнение 2—44
- Болванки стальные обжатые** 6—170
- Болтовые соединения** — Коэффициент концентрации 3—460
- Болты** 4—539, 545
- Диаметры 5—240
- Допуски на средний диаметр 4—506
- Изображение условное на чертежах 4—816
- Штамповка многооперационная 5—177
- Болты для крепления плит жестких на упругом основании** — Расчет 4—536
- для крепления плит на жестком основании — Расчет 4—538
- нагружены поперечной силой — Расчетные формулы 4—526
- нагружены продольной силой — Расчетные формулы 4—525
- нагружены эксцентрично приложенной силой — Расчетные формулы 4—527
- с шестигранной головкой 4—545, 550, 551
- черные 4—551, 553
- шатунные — Расчет 4—494; — Усталость — Пример расчета 3—477
- шестигранные — Штамповка 5—176
- Больцмана постоянная** 2—153
- Борткевича резцы** 5—299
- Бочки** — Объем 1—111
- Бочкообразность** — Определение 4—35

- Бринеля микроскопы** 2 — 252
Бронзирование — Режимы 5 — 723
Бронзы — Диаграммы механического состояния 3 — 438
 — Модуль продольной упругости 3 — 22
 — Применение для подшипников 4 — 276
 — Сварка газовая 5 — 203
 — Угар 5 — 56
 — Усадка 5 — 22
Бронзы алюминиевые — Температура плавки и заливки 5 — 56
 — безоловянные литейные 6 — 269
 — безоловянные, обрабатываемые давлением 6 — 263—267
 — литейные специальные 6 — 269
 — оловянистые 6 — 258—261; — Температура плавки и заливки 5 — 56
 — специальные 6 — 262
Броня гибких проволочных валов 4 — 177
Брус для отделочного шлифования — Характеристика 5 — 423
 — притирочно-шлифовальных головок — Размеры 5 — 420, 421
Брус — см. также *Балки*; *Стержни*
 — Жесткость при кручении обобщенная 3 — 297
 — Изгиб — Расчет с учетом пластических деформаций 3 — 271
 — Изгиб, кручение и растяжение совместный 3 — 279
 — Коэффициент концентрации — Графики 3 — 408, 411, 416
 — Кручение при установившейся ползучести 3 — 295
 — Несущая способность 3 — 278
 — Радиус кривизны остаточный 3 — 287
 — Усилия в поперечных сечениях — Определение тензометрированием 3 — 508
 — Частота собственных колебаний 3 — 338
Брусья винтовые — Внутренние силы 3 — 117; — Напряженное состояние 3 — 118; — Расчет 3 — 112
 — винтовые круглого сечения — Напряжения 3 — 117
 — изогнутые 3 — 295; — Расчет за пределами упругости 3 — 271
 — кривые 3 — 112—116
 — круглого сечения — Напряжения при кручении 3 — 277
 — круговые консольные — Перемещения и усилия 3 — 153, 154
 — наклепанные 3 — 287
 — постоянного поперечного сечения вращающиеся — Пример расчета 3 — 230
 — прямые — Расчет 3 — 21—139
 — с вырезом — Коэффициент концентрации — Формулы расчетные 3 — 405
 — с выточкой растянутые — Эпюры напряжений 3 — 283
 — с круговыми выточками 3 — 283
 — ступенчатые с галтелью 3 — 406
Буксы ходовых колес 4 — 807
Бульдозеры 5 — 128, 129
Бумага асбестовая 6 — 368
Бурдона пружины 3 — 214
Бурдона трубки 3 — 214
Бутадиен — Тепловые свойства 2 — 34
Бутан — Характеристика 5 — 198
Бэга-функция 1 — 178

В

- Вагранки** 5 — 40, 41, 47, 48
 — специальные — Конструкция 5 — 43
Ваграночная плавка чугуна — Набор шихтового материала типовой 5 — 46
Вакуум — Измерение 2 — 455
Вакуумметры 2 — 456
 — жидкостные 2 — 11
Валики шлицевые 3 — 478
Валки прокатные — Химический состав 6 — 223
 — отбеленные — Распределение напряжений 6 — 227
Валлиса формула 1 — 136
Валы 4 — 129—179; 5 — 495
 — Галтели — Предел выносливости 3 — 471
 — Гнезда центровые — Сверление 5 — 503
 — Диаметральные размеры свыше 500 до 5000 мм — Допуски 5 — 447, 477
 — Измерение — Универсальные средства и методы 4 — 111, 114
 — Коэффициент влияния абсолютных размеров сечения 3 — 460, 461
 — Коэффициент жесткости 4 — 346
 — Коэффициент концентрации 3 — 409, 412, 413, 416, 417, 460
 — Коэффициент концентрации эффективный 3 — 455—457
 — Кручение чистое — Пример определения 3 — 533
 — Момент инерции массы 3 — 358
 — Обработка 5 — 496, 499, 500
 — Обтачивание многорезцовое — Схема 5 — 503
 — Переходы — Податливость 3 — 356, 357
 — Податливость 3 — 355

- Потенциальная энергия 3—28
- Приближенное число единиц допуска 1—79, 82
- Проверка индикатором по контрольным поясам 5—503
- Прогибы допускаемые 1—142
- Производство — Контроль технический 5—502
- — Технические условия 5—495
- Скорости критические 3—366, 372
- Скручивание — Пример определения 3—531
- Торцы — Фрезерование — Схема 5—496
- Точки поверхности — Напряжения главные 3—28
- Угол закручивания 3—28
- Установка в патрон и на центр 5—503
- Частота собственных колебаний 3—357; — Формула Дункерля 3—367
- Шейки — Концентричность — Проверка — Аппаратура 5—503; — Кручение — Коэффициент концентрации 3—459
- Шека — Изгиб — Коэффициент концентрации 3—458
- Валы** бесшпоночных соединений 4—608
- вращающиеся — Напряжения 3—236
- гибкие проволочные 4—176—178
- гладкие — Обработка — Технологический маршрут 5—496, 499
- двухопорные — Пример расчета критической скорости 3—371
- диаметром от 0,1 до 10 000 мм — Отклонения 4—83, 86
- диаметром от 1 до 500 мм — Допуски 5—476
- дизель-генераторных установок — Крутильные колебания — Расчетная схема 4—361
- дизельных установок — Усталость — Пример расчета 3—476
- длинные — Момент инерции 3—360
- зубчатых колес — Расчет 4—355
- зубчатых колес конических — Действующие силы — Определение 4—366
- коленчатые 4—148, 149, 151, 153, 161, 162, 168—170, 173
- коленчатые дизелей — Чертежи 4—151, 152, 154, 155, 158, 160
- круглого сечения — Напряжения кручения 3—27
- круглые с кольцевой выточкой — Сжатие — Пример определения 3—533
- некругового поперечного сечения 3—28
- паразитных шестерен — Конструкция 3—447
- паровых машин — Усталость — Пример расчета 3—475
- переменного сечения — Критические скорости 3—369
- переходных и свободных посадок для диаметров от 1 до 500 мм — Отклонения 4—91
- переходных посадок для диаметров свыше 500 до 10 000 мм — Отклонения 4—100
- постоянного сечения — Частота собственных колебаний — Изменение 3—372
- пресовых переходных и свободных посадок для диаметров от 0,1 до 1 мм — Отклонения 4—97
- пресовых посадок для диаметров от 1 до 500 мм — Отклонения 4—90, 94
- пресовых посадок для диаметров свыше 500 до 10 000 мм — Отклонения 4—101
- Валы** прямые 4—129—131, 133—136, 140
- из пластичных материалов — Запас прочности 4—140
- многоопорные — Расчет 4—142
- ослабленные лысками 4—137
- ослабленные пазами 4—135
- ослабленные поперечным отверстием 4—138
- ослабленные шлицами 4—137
- полые 4—130, 140
- промежуточные машины-орудия — Пример расчета 4—144
- с центральным каналом 4—134
- сплошные — Расчет на жесткость 4—140
- трансмиссионные — Расчет 4—143
- Валы** ременных передач — Давление — Расчет 4—468
- с кольцевой канавкой — Коэффициент концентрации — Формулы расчетные 3—406
- с лыской — Сечение — Напряжения и угол закручивания при кручении 3—29
- с надрезом — Изгиб — Пример определения 3—531
- с отверстием — Предел выносливости — Влияние обжима краев отверстия 3—472
- свободных посадок для диаметров свыше 500 до 10 000 мм — Отклонения 4—100
- с сосредоточенными массами — Колебания крутильные 3—360

- сплошные — Диаметр — Определение 3—110; — Пример определения рассеяния энергии при крутильных колебаниях 3—350
- ступенчатые 5—496, 497, 498; — Сопряжения — Размеры 3—417
- ступенчатые скручиваемые — Коэффициент концентрации — Пример определения 3—415
- ступенчатые с галтелью — Коэффициент концентрации — Формулы расчетные 3—406
- тяжелые — Разметка по струне 5—503
- цепных передач — Нагрузки 4—430
- червячных колес — Определение действующих сил 4—413
- Вальцовка** 5—142
 - штамповочная 5—132
- Вальцы** ковочные 5—131
 - листопрямительные 5—234
 - углопрямительные 5—235
- Ван-дер-Ваальса уравнение** 2—38, 60
- Ванны гальванические** 5—727
 - для электрополирования 5—640
- Вариаторы** 4—436—452; — Конструкция 4—438; — Расчет кинематический 4—444
 - колодочно-ременные 4—439
 - конусные 4—437, 438
 - лобовые 4—437, 438
 - планетарные 1—511; 4—451
 - с клиновым механизмом самозатягивания 4—450
 - с раздвижными конусами 4—437, 439, 440
 - со специальными широкими ремнями 4—440
 - торовые 4—437, 441
 - фрикционные планетарные 4—450, 451, 452
 - цепные 4—440
 - ЦНИИТМАШ 4—441, 442, 443
 - шаровые 4—437, 441, 442
- Вариации показаний** 4—4
- Ваттметры** — Включение — Схема 2—373, 374
- Вайерштрасса признак** 1—177
- Вектор-функции линейные** 1—236
- Векторная алгебра** 1—226
- Векторно-векторное произведение** 1—229
- Векторное исчисление** 1—226—234
- Векторное поле** 1—231—234
- Векторные линии** 1—231
- Векторные потенциалы** 1—234
- Векторные проекции** 1—227
- Векторные уравнения** 1—230, 472
- плоскости 1—251
- Векторные функции** 1—230
- Векторный анализ** 1—230
- Векторы** 1—226—см. также *Векторная алгебра*
 - Вихри 1—233
 - Вычитание 1—227
 - Годографы 1—230
 - Дивергенция 1—232
 - Интегралы линейные 1—233
 - Проекция 1—227
 - Произведения 1—228, 229
 - Расхождение 1—232
 - Сложение 1—227, 228
 - Уравнения 1—230
 - Циркуляция 1—233
- Векторы Дарбу** 1—292
 - коллинеарные 1—226
 - компланарные 1—227
 - кручения 1—284
 - скорости во вращательном движении 1—229
 - скорости вращения трехгранника 1—292
- Величины бесконечно большие** 1—135
 - бесконечно малые 1—135
 - обратные чисел 1—12
 - ограниченные 1—134
 - постоянные — Таблицы 1—6
 - случайные 1—322; — Ожидание математическое 1—326; — Отклонения 1—327; — Распределение 1—323
 - электрические — Приборы для их измерения 2—370
- Вентили** 2—490; — Детали — Прочность — Проверка 4—745; — Коэффициент сопротивления 2—490
 - аммиачные 5—219
- Венцы зубчатые** 5—374
 - незвольнентного профиля — Обработка 5—388
 - эвольвентного профиля — Обработка 5—376
- Веревочные кривые** 1—366
- Веревочные многоугольники** 1—364, 365
- Верещагина метод** 3—273
 - правило 3—152
- Вероятности зазоров и натягов** 4—103
- Вероятностные характеристики** 1—326
- Вероятность** — Распределение — Таблица 1—322; — Тория 1—321—335
 - статическая 1—324
- Вероятные ошибки** 1—331
- Верховского метод расчета коэффициентов концентрации** 3—417
- Вершина кривой** 1—268
- Вес удельный** — см. *Удельный вес*
- Весы для взвешивания деталей машин** — Схемы 5—565
 - кольцевые 2—457

- Вещества горючие — см. *Горючие вещества*
 Вещественные числа — Действия 1 — 62
 Взаимозаменяемость в машиностроении 4 — 1—54
 Взаимоиндукция 2 — 333
 Вибраторы 3 — 384—386
 Вибрации — см. *Колебания*
 Вибрационная звукопередача 2 — 263
 Виброграммы 3 — 378
 Виброизоляция 3 — 352
 Виброметры — Схема 3 — 381
 Вильо метод для определения перемещений ферменных конструкций 3 — 155
 Винипласт — Сварка 5 — 604
 Винипроз 6 — 350
 Винтовое движение 1 — 377
 Винтовые зубчатые передачи 4 — 414
 Винтовые колеса 1 — 496
 Винтовые линии 1 — 286, 289
 Винтовые окуляр-микрометры 2 — 245
 Винтовые поверхности 1 — 298, 299
 Винтовые соединения 5 — 754; 755
 Винты 1 — 286, 287; 4 — 554
 — Головка под отвертку или под ключ 4 — 542
 — Запас устойчивости 3 — 311
 Винты гребные — Момент инерции 3 — 359
 — грузовые 4 — 538
 — зажимные — Расчет 5 — 484
 — механизмов винтовых с соосным расположением пар 1 — 491
 — с внутренним шестигранником — Штамповка 5 — 172
 — с квадратной головкой и буртиком 4 — 557
 — с крестообразным гнездом в головке — Штамповка 5 — 172
 — с полукруглой головкой 4 — 554, 558
 — с полупотайной головкой 4 — 556
 — с потайной головкой 1 — 555, 558
 — с цилиндрической головкой 4 — 555, 558
 — установочные 4 — 558, 559, 560, 561
 — ходовые 4 — 538
 Виньетирование 2 — 233
 Вихревая линия 2 — 504
 Вихревая нить 2 — 513
 Вихревая трубка 2 — 504
 Вихревое движение жидкости 2 — 513
 Вихревые токи 2 — 333
 Вихри вектора 1 — 233
 Вихрь скорости 2 — 504
 — точечный 2 — 508
 Вишневого крекеры 5 — 218
 Вкладыши подшипников скольжения — Форма 4 — 273
 — подшипниковые 5 — 506—509, 512, 515
 — подшипниковые тонкостенные из биметаллической ленты 5 — 514, 515
 — собранные 5 — 506
 Включение кулачковых муфт 4 — 197
 — полупроводниковых выпрямителей — Схема 2 — 369
 Влага — Содержание в углях — Расчет 2 — 178
 Влагосодержание влажного воздуха весовое 2 — 107, 109
 Влажность древесины 6 — 333
 Влажный воздух — см. *Воздух влажный*
 Власова формула 3 — 174
 Внутришлифовальные станки для зубчатых колес 5 — 525
 Вогнутость кривых 1 — 264
 — поверхностей — Определение 4 — 35
 Вода 2 — 193—203
 — Вязкость 2 — 142, 452
 — Деаэрация 2 — 202
 — Жесткость 2 — 193
 — Качество — Нормы 2 — 193—195
 — Коагуляция 2 — 197
 — Коэффициент вязкости 2 — 142, 452
 — Коэффициент теплопроводности 2 — 123
 — Модуль упругости 2 — 451
 — Обескислороживание 2 — 202
 — Обессоливание 2 — 202
 — Окисляемость 2 — 193
 — Осветление 2 — 196
 — Очистка известковая 2 — 199
 — Очистка от масла 2 — 203
 — Параметры физические на кривой насыщения 2 — 141
 — Применение в качестве холодильного агента 2 — 103
 — Прозрачность 2 — 193
 — Состав 2 — 193
 — Сухой остаток 2 — 193
 — Тепловые свойства 2 — 72
 — Теплоемкость 2 — 18
 — Удельный вес 2 — 449, 450
 — Удельный объем 2 — 72
 — Умягчение 2 — 197, 200
 — Фильтрация 2 — 195
 Вода морская — Солевой состав 2 — 195
 — питательная 2 — 195
 Водоизмещение 2 — 459
 Водоналивные элементы 2 — 356
 Водоочистные установки 2 — 196, 197, 199
 Водопоглощаемость древесины 6 — 333
 Водород — Определение в стали 6 — 55
 — Растворимость в металлах 2 — 322
 — Тепловые свойства 2 — 23
 — Характеристика 5 — 198

- Водосливы 2 — 484
 Водоумягчители содо-известковые 2 — 199
 Водохранилища — Опорожнение 2 — 483
 Водяной пар — см. Пар
 Возбудители колебаний 3 — 384
 — вынужденные 3 — 347
 — периодические 3 — 348, 349
 Возвратные уравнения третьей степени 1 — 120
 — четвертой степени 1 — 121
 Возгонка 2 — 38
 Воздух — Тепловые свойства 2 — 22
 Воздух влажный 2 — 107
 — i — d -диаграмма 2 — 111
 — Объем на 1 $\kappa\Gamma$ сухого воздуха 2 — 109
 — Удельный вес 2 — 110
 — Энтальпия 2 — 111
 Воздух сжатый — Температура 2 — 57
 — сухой — Параметры физические 2 — 142
 Войлочные кольца уплотнительные 4 — 729
 Вокар 6 — 327
 Волновые уравнения 1 — 225
 Волны звуковые — Длины 2 — 255
 Волокнит 3 — 431
 Волокно асбестовое 6 — 364
 Вольтамперные характеристики фотоэлемента 2 — 364
 Вольтметры — Включение — Схема 2 — 373
 Вольтодобавочные машины 2 — 378
 Волюметры 5 — 256
 Воспламеняемость горючих веществ — Средства тушения 2 — 312
 Восприимчивость парамагнитная — Измерение 6 — 64
 Восьмиугольники правильные 3 — 31, 41
 Вращение вокруг неподвижной оси 1 — 376
 — твердых тел 1 — 396
 — трехгранника 1 — 292
 Время основное при зенкеровании 5 — 331
 — при зубонарезании 5 — 393
 — при обкатывании 5 — 574
 — при протягивании 5 — 374
 — при резбонарезании 5 — 362
 — при фрезеровании 5 — 351
 Втулки — Соединения 5 — 157
 — для бесшпоночных соединений — Изготовление — Технологические операции 4 — 607; — Размеры — Нормальный ряд 4 — 605, 606
 — кондукторные 5 — 490
 — подшипниковые 5 — 504—506
 — пористые железные 5 — 264
 Вуда сплавы 6 — 275
 Вукаловича уравнение 2 — 62
 Выбивка литья — Оборудование 5 — 38
 — Технология 5 — 37
 Выбор класса точности цилиндрических зубчатых передач 4 — 298, 300
 — коэффициента смещения зубчатых передач 4 — 366
 — напряжений, допускаемых для пружин и рессор 4 — 617
 — подшипников качения 4 — 238, 239, 240, 241, 242
 — приводных ремней 4 — 458
 Выводы обмоток — Обозначения 2 — 382, 395, 396
 Выдавливание крестообразных гнезд для винтовых головок 5 — 173
 Выключатели 2 — 433, 435
 Выкрашивание усталостное 1 — 439
 Выносливость 6 — 21
 — валов коленчатых 4 — 161; — Расчет 4 — 173
 — валов прямых — Расчет 4 — 133, 136
 — деталей — Влияние качества поверхности 3 — 464
 Выплавляемые модели 5 — 72
 Выпрямители двухполупериодные 2 — 361, 362
 — однополупериодные 2 — 361
 — полупроводниковые 2 — 368
 — ртутные 2 — 367 — см. также *Игнитроны*
 Выпрямительные схемы 2 — 370
 Выпрямляемость абака Декарта — Условие 1 — 315
 Выпуклость кривых 1 — 264
 Вырезка 5 — 139
 Вырезы — Коэффициент концентрации 3 — 414, 415
 Вырубка 5 — 139, 152, 153
 Высадка в кольцо 5 — 110
 — в матрицах 5 — 169
 — в нижнике 5 — 110
 — в разъемных матрицах 5 — 170
 — в универсальных матрицах 5 — 171
 — головок — Удельные давления 5 — 165
 — крепежных изделий 5 — 163
 — полукруглых головок с прямым пазом 5 — 171
 — пустотелых заклепок 5 — 173
 — с электроподогревом — Схема 5 — 178
 Высадка холодная — Выбор матриц 5 — 170
 — крепежных деталей 5 — 164, 166—168
 — на прессах-автоматах 5 — 161
 Высокий отпуск 5 — 680

Высокочастотные печи 5 — 55, 56
— для прецизионного литья 5 — 73, 74

Выталкиватели 5 — 491
— в штампах кривошипных прессов 5 — 120

Выточки — Коэффициент концентрации 3 — 413

— кольцевые — Растяжения — Коэффициент концентрации 3 — 445, 446

Вытяжка 5 — 111, 142, 144—146, 155
Вытяжные штампы — Схемы 5 — 145, 146

Вычерчивание кривой 1 — 265
Вычеты аналитических функций 1 — 200

Вычисления — Оценка точности 1 — 66
— подходящих дробей 1 — 72

— приближенные 1 — 67
— с малыми числами 1 — 69

— элементов фигур 1 — 102—114
Вычислительные машины 1 — 343, 347, 348

Вычитание на арифмометре 1 — 340
Вязкость 2 — 450, 451

— воды 2 — 142, 452
— газов 2 — 143

— жидкостей 2 — 452, 453
— масел 2 — 452

— нефтепродуктов 2 — 452, 453
— смазки для червячных передач 4 — 413

— стальных поковок после закалки и высокотемпературного отпуска 5 — 695

— ударная 6 — 20
— ударная углеродистой стали после термообработки 6 — 137

— чистых металлов 2 — 318

Г

Гагарина прессы 6 — 2

Газ — см. также Газы
— воздушной продувки 2 — 192

— генераторный 2 — 192
— доменный 2 — 192

— углекислый — Тепловые свойства 2 — 27

Газификация топлива 2 — 174
Газовая динамика 2 — 519

Газовая постоянная 2 — 39, 519
— влажного воздуха 2 — 111

— газовой смеси 2 — 46
Газовая сварка 5 — 199, 203, 228

Газовая цементация 5 — 686
Газовое питание 5 — 197

Газовое цианирование 5 — 688, 689

Газовые двигатели — см. Двигатели газовые

Газовые процессы 2 — 47 — см. также по их названиям, например *Адиабатический процесс; Изобарический процесс; Изотермический процесс; Изохорический процесс; Политропический процесс*

Газовые смеси 2 — 45

Газовый поток — см. Поток газовый

Газогенераторный процесс 2 — 174

Газопламенная обработка металлов 5 — 197

Газопрессовые установки 5 — 204

Газопроводы — Гидравлический расчет 2 — 475

Газотворные заряды — Применение 5 — 35

Газотроны 2 — 365

Газоходы котлоагрегатов — Расчет 2 — 163

Газы — Вязкость — Коэффициент динамический 2 — 143

— Горение — Максимальные температуры пламени 2 — 312

— Границы воспламенения 2 — 313

— Дросселирование 2 — 92

— Истечение 2 — 90

— Истечение из большого сосуда 2 — 521

— Кинетическая теория — Уравнения 2 — 44

— Константы равновесия 2 — 310

— Коэффициент давления 2 — 17

— Коэффициент объемного расширения 2 — 17, 140

— Коэффициент теплопроводности 2 — 124

— Параметры критические 2 — 38, 39

— Расширение адиабатическое 2 — 49

— Расширение политропическое 2 — 49

— Скорость — Измерение 2 — 526

— Скорость распространения пламени 2 — 313

— Степень черноты 2 — 163

— Теплоемкость 2 — 17—35

— Теплота — Определение по теплоемкостям 2 — 18

— Турбулентное течение — Теплоотдача 2 — 144

— Уравнение движения 2 — 519

— Характеристика 5 — 198

— Характеристика тепловая 2 — 39

— Энтальпия 2 — 19—35

— Энтропия 2 — 19—35

Газы в стали — Определение 6 — 53, 54

— идеальные 2 — 44; — Теплоемкость 2 — 17; — Теплосодержание 2 — 519; — Энтропия 2 — 520

- реальные 2 — 59; — Теплоемкость 2 — 17
- Гайки** 4 — 543; — Высота — Определе-ние 4 — 531; — Допуски на сред-ний диаметр 4 — 506
- винтовых механизмов с соосным расположением пар 1 — 491
- корончатые 4 — 566
- шестигранные 4 — 564—567
- Гайковерты** 5 — 755
- Галилея телескопическая система** 2 — 240
- Галтели** 5 — 22
- вала и проточки в корпусе — Раз-меры 4 — 256
- коленчатых валов 4 — 149
- обтекаемые — Размеры 3 — 416, 417
- Гальванические ванны** 5 — 727
- Гальванические покрытия** — Антикор-розионные свойства 5 — 729
- Виды 5 — 714
- Влияние на предел выносливости 3 — 466, 467
- Контроль качества 5 — 728
- Технология 5 — 718
- Толщина 5 — 715, 716, 717
- Гальванические покрытия многослойные** 5 — 717
- однослойные 5 — 716
- толстые 5 — 730
- Гальванические элементы** 2 — 356
- Гальванометры** 5 — 491, 496, 497
- Гальваностегия** — см. *Гальванические покрытия*
- γ-аппараты для дефектоскопии** — Ха-рактеристика 6 — 76
- γ-графирование** — Чувствительность 6 — 79
- γ-дефектоскопия** 6 — 75
- γ-функция** 1 — 178
- Таблицы 1 — 41
- Гармонические составляющие периоди-ческих функций** 3 — 347
- сил давления газов в двигателях 3 — 348
- Гармонические функции** 1 — 234
- Гармонический анализ** 1 — 312
- Гармонический ряд** 1 — 149
- Гармонический синтез** 1 — 313
- Гармоническое движение** 3 — 333
- Гаусса закон** 1 — 323
- теорема 2 — 330
- формула 1 — 183
- Гасители** 3 — 352
- Гашение колебаний** 3 — 350
- вынужденных 3 — 347
- Гей-Люссака уравнение** 2 — 44
- Гелий** — Характеристика 5 — 209
- Геликоиды** 1 — 294, 298
- Генераторный газ** 2 — 192
- Генераторы** — Напряжения номиналь-ные 2 — 380
- для газопламенной обработки металлов 5 — 199
- постоянного тока 2 — 380, 381
- электрические 2 — 378
- Геодезическая кривизна поверхности** 1 — 296
- Геодезические линии на поверхности** 1 — 296
- Геометрическая оптика** 2 — 228
- Геометрическая прогрессия** 1 — 80, 81
- Геометрическая статика** 1 — 352
- Геометрические места** — Уравнения 1 — 240
- Геометрический расчет зацепления чер-вячных передач** 4 — 406
- Геометрический фактор жесткости для двутавра** 3 — 329
- Геометрическое значение уравнения** 1 — 239
- Геометрия** — Приложение интеграль-ного исчисления 1 — 189
- аналитическая в пространстве 1 — 249
- аналитическая на плоскости 1 — 238
- бесплощочных соединений 4 — 604
- винтовых пружин 4 — 622
- дифференциальная 1 — 258—300
- шлицевых соединений 4 — 587
- Гетинакс** — сверление 5 — 609
- Скорость резания 5 — 610
- Свойства 3 — 22, 431; 6 — 342
- Гибка** — Коэффициент минимального радиуса 5 — 141
- горячая 5 — 243
- листов на вальцах — Схема 5 — 242
- подшипниковых вкладышей в штампе 5 — 515
- с растяжением 5 — 142
- угольников и скоб в штампах — Точность полок 5 — 154
- холодная 5 — 241; — Зона крити-ческих деформаций 5 — 153; — Ра-диус наименьший допустимый 5 — 242
- Гибкие валы проволочные** 4 — 175
- Гибкость допускаемая для растяну-тых элементов сварных ферм** 4 — 685
- стержней переменного сечения — Определение 4 — 692, 694
- стоек 3 — 319
- Гибочные машины** 5 — 128, 129
- Гидравлика** 2 — 449—502
- Гидравлический расчет** — см. под соот-ветствующими названиями с подруб-

- рикой — Гидравлический расчет, например *Нефтепроводы* — Гидравлический расчет; *Теплообменники* — Гидравлический расчет
- Гидравлический удар в трубах 2 — 492
- Гидравлический уклон 2 — 464
- Гидроаэрогазодинамика 2 — 503—529
- Гидроаэродинамика 2 — 503
- Гидродинамическая теория смазки 4 — 459
- Гидронзол 6 — 369
- Гидрокислая группа ОН — Тепловые свойства 2 — 26
- Гидросепарация формовочных смесей 5 — 18
- Гидростатическое взвешивание 2 — 13, 15
- Гиперболические параболоиды 1 — 256, 257
- Гиперболические спирали 1 — 262, 276
- Гиперболические точки поверхности 1 — 296
- Гиперболические уравнения — см. *Уравнения гиперболические*
- Гиперболические функции — см. *Функции гиперболические*
- Гиперболические цилиндры — Уравнения 1 — 256
- Гиперболоиды — Уравнения 1 — 256
- однополостные 1 — 257
- Гиперболы — Построение 1 — 248; — Уравнения параметрические 1 — 246; — Элементы 1 — 244, 245, 248
- равнобочные 1 — 246
- сопряженные 1 — 245
- Гипертригонометрические функции Крылова 3 — 343
- Гипоидные колеса 1 — 496
- Гипоидные передачи 4 — 366
- Гипотеза Баландина о сопротивлении разрушению 3 — 435
- Мора определения условий пластичности 3 — 435, 436
- ломаных сечений 3 — 418
- наибольших касательных напряжений 3 — 435
- наибольших нормальных напряжений об условиях прочности 3 — 435
- наибольших удлинений 3 — 435
- октаэдрических напряжений 1 — 435
- ползучести 3 — 289
- старения 3 — 292, 293
- течения 3 — 292
- упрочнения 3 — 289
- Гипоциклоиды 1 — 281
- Гипоциклоиды-рулетты 1 — 280
- Гироскопический момент 1 — 399
- Гироскопический эффект 1 — 399
- Гироскопы 1 — 398
- Гистерезис 2 — 335; 3 — 350
- Гистограмма распределения 1 — 325
- Глауконит — Характеристика 2 — 200
- Глины бентонитовые 5 — 2
- формовочные 5 — 2, 3
- Глободные червячные передачи 4 — 414
- Глубина дробеструйного наклепа 5 — 587
- Глубина резания 5 — 270
- при рассверливании 5 — 325
- при сверлении 5 — 325
- резами 5 — 305
- Глубиномеры микрометрические 4 — 12
- Глухари 4 — 570, 572, 573
- Глушение вентиляционных шумов 2 — 267
- шума выхлопа 2 — 268
- Глушители реактивные 2 — 268
- Гнезда — Конструирование 5 — 553
- пуансона — Выдавливание 5 — 171
- Гнутье деталей из слоистых пластмасс 5 — 601
- древесины 5 — 631
- фанеры березовой бакелитовой 5 — 632
- Годограф вектора 1 — 230
- Головки болтов 4 — 541
- винтов — Гнезда крестообразные — Выдавливание 5 — 173
- винтов под отвертку или под ключ 4 — 542
- винтов с внутренним шестигранником — Размеры 5 — 172
- двухрезцовые для обработки отверстий 5 — 548
- для притирочного шлифования 5 — 420; — Бруски — Размеры 5 — 420, 421
- зуборезные 5 — 384
- зубьев эвольвентных зацеплений 1 — 493
- оптические делительные 4 — 118, 122
- полукруглые с прямым пазом — Высадка 5 — 171
- резьбонарезные 5 — 355, 358
- торцевые фрезерные 5 — 341
- угломерные 4 — 118, 122
- шатунов кривошипно-шатунных механизмов — Изгибающий момент 4 — 494; — Напряжения 4 — 493; — Расчет 4 — 492, 494
- Голоморфные функции 1 — 198
- Голубинского формула 2 — 150
- Гомали окуляры 2 — 245
- Гоммеля редукторы 1 — 508
- Гониометрия 1 — 94
- Горелки для атомно-водородной сварки 5 — 217
- кислородно-ацетиленовые 5 — 209
- сварочные 5 — 200

- Горение — Расчет 2 — 170—175
 Горизонтально-ковочные машины 5—124
 Горючие вещества — Воспламеняемость 2—312
 Горючие сланцы — см. *Сланцы горючие*
 ГОСТ 5-52 6—342
 ГОСТ 7-51 6—364
 ГОСТ 20-54 6—358
 ГОСТ 38-52 6—361
 ГОСТ 71-55 6—358
 ГОСТ 82-51 6—192
 ГОСТ 85-55 6—360
 ГОСТ 90-41 6—359
 ГОСТ 101-54 6—358
 ГОСТ 102-49 6—337
 ГОСТ 103-51 6—173
 ГОСТ 111-54 6—373
 ГОСТ 131-51 6—393
 ГОСТ 190-41 6—393
 ГОСТ 226-46 6—342
 ГОСТ 301-50 6—197, 198
 ГОСТ 312-43 6—392
 ГОСТ 350-41 6—392
 ГОСТ 380-50 6—123, 125, 126, 131, 136, 183
 ГОСТ 389-41 6—380
 ГОСТ 390-54 6—376, 380
 ГОСТ 399-41 6—149
 ГОСТ 480-41 6—364
 ГОСТ 481-47 6—369
 ГОСТ 482-41 6—391
 ГОСТ 492-52 6—264, 279, 283
 ГОСТ 493-54 6—265, 269, 270
 ГОСТ 494-52 6—253, 256—258
 ГОСТ 495-50 6—248
 ГОСТ 503-41 6—139, 192
 ГОСТ 529-41 6—253
 ГОСТ 576-41 6—352
 ГОСТ 613-50 6—259
 ГОСТ 614-50 6—259
 ГОСТ 631-50 6—331
 ГОСТ 633-50 6—198
 ГОСТ 634-50 6—277
 ГОСТ 770-41 6—248, 251
 ГОСТ 792-41 6—194
 ГОСТ 800-55 6—198
 ГОСТ 801-47 6—156, 158
 ГОСТ 802-54 6—168, 191
 ГОСТ 804-49 6—313
 ГОСТ 849-49 6—277
 ГОСТ 851-51 6—313
 ГОСТ 859-41 6—246
 ГОСТ 861-55 6—381
 ГОСТ 881-41 6—377, 380
 ГОСТ 914-47 6—138
 ГОСТ 926-52 6—387, 389
 ГОСТ 927-55 6—349
 ГОСТ 928-41 6—349
 ГОСТ 931-52 6—253, 257, 258
 ГОСТ 977-53 6—140
 ГОСТ 1003-41 6—393
 ГОСТ 1018-54 6—248, 280
 ГОСТ 1019-47 6—249, 251, 254
 ГОСТ 1048-49 6—267
 ГОСТ 1049-41 6—281
 ГОСТ 1050-52 6—36, 130—132, 137, 144, 145, 147, 158, 183
 ГОСТ 1051-50 6—130, 131, 133, 138
 ГОСТ 1066-50 6—253, 258
 ГОСТ 1070-41 6—195
 ГОСТ 1071-41 6—195
 ГОСТ 1133-41 6—174
 ГОСТ 1143-41 6—337
 ГОСТ 1173-49 6—248
 ГОСТ 1198-55 6—370
 ГОСТ 1208-54 6—268
 ГОСТ 1209-53 6—271
 ГОСТ 1219-41 6—271
 ГОСТ 1284-45 6—358
 ГОСТ 1320-55 6—271
 ГОСТ 1330-55 6—358
 ГОСТ 1332-41 6—360
 ГОСТ 1334-41 6—360
 ГОСТ 1335-51 6—359
 ГОСТ 1347-41 6—392
 ГОСТ 1380-54 6—49, 50, 271
 ГОСТ 1386-47 6—374
 ГОСТ 1412-54 6—36, 214, 217, 218, 220
 ГОСТ 1414-54 6—147
 ГОСТ 1429-54 6—273
 ГОСТ 1435-54 6—156, 157
 ГОСТ 1497-42 6—5
 ГОСТ 1499-54 6—273
 ГОСТ 1524-42 6—20
 ГОСТ 1525-53 6—280
 ГОСТ 1534-42 6—274
 ГОСТ 1535-48 6—248
 ГОСТ 1543-42 6—193
 ГОСТ 1545-42 6—44
 ГОСТ 1566-50 6—377, 380
 ГОСТ 1577-53 6—137
 ГОСТ 1579-42 6—43
 ГОСТ 1595-47 6—267
 ГОСТ 1598-53 6—380
 ГОСТ 1599-53 6—377, 380
 ГОСТ 1628-48 6—267—269
 ГОСТ 1652-54 6—249, 254
 ГОСТ 1753-53 6—198
 ГОСТ 1769-53 6—195
 ГОСТ 1779-55 6—365
 ГОСТ 1786-42 6—370
 ГОСТ 1788-42 6—359
 ГОСТ 1789-50 6—268
 ГОСТ В-1790-42 6—285
 ГОСТ 1791-54 6—285
 ГОСТ 1798-49 6—140
 ГОСТ В-1819-42 6—359
 ГОСТ 1898-48 6—361

| | | |
|--------------|------------------------------------------------|--|
| ГОСТ 1928-50 | 6 — 393 | |
| ГОСТ 1953-54 | 6 — 48, 254 | |
| ГОСТ 1982-50 | 6 — 140, 194 | |
| ГОСТ 1987-43 | 6 — 48, 264, 265 | |
| ГОСТ 2052-53 | 6 — 145, 147 | |
| ГОСТ 2060-48 | 6 — 253, 256—258 | |
| ГОСТ 2076-48 | 6 — 294 | |
| ГОСТ 2085-48 | 6 — 294 | |
| ГОСТ 2162-43 | 6 — 361 | |
| ГОСТ 2170-49 | 6 — 280 | |
| ГОСТ 2179-52 | 6 — 280 | |
| ГОСТ 2198-43 | 6 — 370 | |
| ГОСТ 2203-43 | 6 — 256, 280 | |
| ГОСТ 2208-49 | 6 — 253, 257 | |
| ГОСТ 2284-43 | 6 — 139, 193 | |
| ГОСТ 2299-43 | 6 — 359 | |
| ГОСТ 2320-43 | 6 — 35, 36 | |
| ГОСТ 2321-43 | 6 — 36 | |
| ГОСТ 2331-43 | 6 — 45, 46 | |
| ГОСТ 2335-50 | 6 — 140 | |
| ГОСТ 2347-43 | 6 — 392 | |
| ГОСТ 2589-44 | 6 — 188 | |
| ГОСТ 2590-51 | 6 — 171, 172 | |
| ГОСТ 2591-51 | 6 — 171, 172 | |
| ГОСТ 2604-44 | 6 — 45—47 | |
| ГОСТ 2614-55 | 6 — 147, 194 | |
| ГОСТ 2625-44 | 6 — 34 | |
| ГОСТ 2630-44 | 6 — 368 | |
| ГОСТ 2686-44 | 6 — 358 | |
| ГОСТ 2718-54 | 6 — 342 | |
| ГОСТ 2748-53 | 6 — 357 | |
| ГОСТ 2850-45 | 6 — 369 | |
| ГОСТ 2879-51 | 6 — 171, 172 | |
| ГОСТ 2910-54 | 6 — 342 | |
| ГОСТ 2924-45 | 6 — 341 | |
| ГОСТ 2925-45 | 6 — 369 | |
| ГОСТ 2936-45 | 6 — 253 | |
| ГОСТ 3056-45 | 6 — 356 | |
| ГОСТ 3099-46 | 6 — 196 | |
| ГОСТ 3100-46 | 6 — 198 | |
| ГОСТ 3101-46 | 6 — 198 | |
| ГОСТ 3102-46 | 6 — 198 | |
| ГОСТ 3134-52 | 6 — 393 | |
| ГОСТ 3221-46 | 6 — 398 | |
| ГОСТ 3242-54 | 6 — 41 | |
| ГОСТ 3262-55 | 6 — 198 | |
| ГОСТ 3272-46 | 6 — 377, 380 | |
| ГОСТ 3282-46 | 6 — 194, 360 | |
| ГОСТ 3294-53 | 6 — 171 | |
| ГОСТ 3379-46 | 6 — 36 | |
| ГОСТ 3542-47 | 6 — 171 | |
| ГОСТ 3549-47 | 6 — 298 | |
| ГОСТ 3552-47 | 6 — 345 | |
| ГОСТ 3565-47 | 6 — 11 | |
| ГОСТ 3640-47 | 6 — 294 | |
| ГОСТ 3680-47 | 6 — 191 | |
| ГОСТ 3704-47 | 6 — 195 | |
| ГОСТ 3728-47 | 6 — 44 | |
| ГОСТ 3747-47 | 6 — 361 | |
| ГОСТ 3778-47 | 6 — 294 | |
| ГОСТ 3836-47 | 6 — 167 | |
| ГОСТ 3882-53 | 6 — 325 | |
| ГОСТ 3910-47 | 6 — 377, 380 | |
| ГОСТ 3916-47 | 6 — 337 | |
| ГОСТ 3959-47 | 6 — 36 | |
| ГОСТ 4005-48 | 6 — 393 | |
| ГОСТ 4017-48 | 6 — 358 | |
| ГОСТ 4121-52 | 6 — 186 | |
| ГОСТ 4134-48 | 6 — 264, 269 | |
| ГОСТ 4157-48 | 6 — 377, 380 | |
| ГОСТ 4247-48 | 6 — 380 | |
| ГОСТ 4392-48 | 6 — 361 | |
| ГОСТ 4399-48 | 6 — 393 | |
| ГОСТ 4402-48 | 6 — 169 | |
| ГОСТ 4442-48 | 6 — 257 | |
| ГОСТ 4543-48 | 6 — 36, 132, 133, 136, 142, 145, 149, 157, 158 | |
| ГОСТ 4631-49 | 6 — 330 | |
| ГОСТ 4671-53 | 6 — 361 | |
| ГОСТ 4672-49 | 6 — 361 | |
| ГОСТ 4673-49 | 6 — 361 | |
| ГОСТ 4689-49 | 6 — 380 | |
| ГОСТ 4692-49 | 6 — 170 | |
| ГОСТ 4693-51 | 6 — 170 | |
| ГОСТ 4748-49 | 6 — 268 | |
| ГОСТ 4750-52 | 6 — 358 | |
| ГОСТ 4754-54 | 6 — 358 | |
| ГОСТ 4773-49 | 6 — 308, 309 | |
| ГОСТ 4783-49 | 6 — 308—310 | |
| ГОСТ 4784-49 | 6 — 305 | |
| ГОСТ 4792-49 | 6 — 359 | |
| ГОСТ 4809-49 | 6 — 393 | |
| ГОСТ 4873-49 | 6 — 377, 380 | |
| ГОСТ 4977-52 | 6 — 308—310 | |
| ГОСТ 4978-49 | 6 — 377, 380 | |
| ГОСТ 4997-49 | 6 — 361 | |
| ГОСТ 5005-49 | 6 — 197 | |
| ГОСТ 5017-49 | 6 — 260 | |
| ГОСТ 5047-49 | 6 — 146, 195 | |
| ГОСТ 5063-49 | 6 — 280, 281 | |
| ГОСТ 5157-53 | 6 — 171 | |
| ГОСТ 5187-49 | 6 — 280, 281 | |
| ГОСТ 5189-49 | 6 — 285 | |
| ГОСТ 5200-50 | 6 — 157 | |
| ГОСТ 5210-50 | 6 — 171 | |
| ГОСТ 5220-50 | 6 — 268, 281 | |
| ГОСТ 5228-50 | 6 — 361 | |
| ГОСТ 5250-50 | 6 — 149 | |
| ГОСТ 5267-50 | 6 — 171 | |
| ГОСТ 5307-50 | 6 — 285 | |
| ГОСТ 5332-53 | 6 — 359 | |
| ГОСТ 5341-50 | 6 — 376, 380 | |
| ГОСТ 5353-52 | 6 — 171 | |
| ГОСТ 5381-50 | 6 — 380 | |
| ГОСТ 5385-50 | 6 — 349 | |
| ГОСТ 5398-50 | 6 — 360 | |
| ГОСТ 5443-50 | 6 — 183 | |
| ГОСТ 5470-50 | 6 — 392 | |
| ГОСТ 5498-50 | 6 — 380 | |
| ГОСТ 5500-50 | 6 — 376, 379, 380 | |

- ГОСТ 5513-54 6 — 358
 ГОСТ 5543-50 6 — 197
 ГОСТ 5548-50 6 — 196
 ГОСТ 5582-50 6 — 155
 ГОСТ 5630-51 6 — 393
 ГОСТ 5631-51 6 — 392
 ГОСТ 5632-51 6 — 149, 150, 158, 166, 283
 ГОСТ 5650-51 6 — 174
 ГОСТ 5652-51 6 — 358
 ГОСТ 5657-51 6 — 38, 111
 ГОСТ 5681-51 6 — 188
 ГОСТ 5684-51 6 — 359
 ГОСТ 5689-51 6 — 338
 ГОСТ 5704-51 6 — 342
 ГОСТ 5753-51 6 — 390
 ГОСТ 5785-51 6 — 391
 ГОСТ 5813-51 6 — 358
 ГОСТ 5883-51 6 — 358
 ГОСТ 5950-51 6 — 147, 156, 158
 ГОСТ 5952-51 6 — 156
 ГОСТ 5990-50 6 — 157
 ГОСТ 6009-51 6 — 192
 ГОСТ 6024-51 6 — 380
 ГОСТ 6044-51 6 — 359
 ГОСТ 6051-51 6 — 361
 ГОСТ 6075-51 6 — 391
 ГОСТ 6102-52 6 — 364
 ГОСТ 6130-52 6 — 93
 ГОСТ 6286-52 6 — 359, 361
 ГОСТ 6336-52 6 — 333
 ГОСТ 6365-52 6 — 361
 ГОСТ 6368-52 6 — 171
 ГОСТ 6467-53 6 — 361
 ГОСТ 6557-53 6 — 361
 ГОСТ 6586-53 6 — 391
 ГОСТ 6689-53 6 — 278
 ГОСТ 6807-53 6 — 392
 ГОСТ 6862-54 6 — 165, 169
 ГОСТ 6980-54 6 — 361
 ГОСТ 6996-54 6 — 41, 44
 ГОСТ 7151-54 6 — 380
 ГОСТ 7173-55 6 — 171
 ГОСТ 7293-54 6 — 215
 ГОСТ 7338-55 6 — 361
 ГОСТ 7417-55 6 — 186
 ГОСТ 7512-55 6 — 79
 Градиент напряжения 3 — 403
 — скалярных функций 1 — 231
 — температуры 2 — 116
 Градусная мера — Перевод в радианную 1 — 39
 Гранит — Модуль продольной упругости 3 — 22
 Граница поля допуска 4 — 3
 Грасгофа критерий подъемной силы 2 — 140
 График видности 2 — 225
 — яркости светящихся составов 2 — 226
 Графики бесселевых функций 1 — 222, 223
 — движения точки 1 — 371
 — зависимости изгибающего момента от кривизны 3 — 271
 — зависимости $\frac{M_{\max}}{M_T}$ от $\frac{f_{\max}}{f_T}$ 3 — 273, 274
 — коэффициентов концентрации для деталей 3 — 408—413
 — обратных тригонометрических функций 1 — 99
 — полиномов Чебышева 1 — 224
 — синусоидальных величин 1 — 97
 — тригонометрических функций 1 — 88—91, 94, 99, 101; — Построение 1 — 97, 98
 Графитизация белого чугуна 5 — 704
 Графическое интегрирование 1 — 183, 211, 516
 Графо-аналитический метод выбора коэффициентов смещения для зубчатых передач 4 — 376, 377
 Графостатика 1 — 364
 Гребенки 5 — 353; — Зубья рабочие — Число 5 — 360
 — зуборезные 5 — 377, 378, 379
 Гребни водосливов 2 — 484
 Греческий алфавит 1 — 5
 Грифтиса формула 3 — 406
 Громекса уравнение 2 — 505
 Громкость 2 — 256
 Грузоподъемность балок 3 — 276
 — манипуляторов 5 — 108
 — подшипников скольжения — Влияние обработки 4 — 266; — График 4 — 261
 Грузоподъемные машины — Детали специальные 4 — 764—810
 — Рукоятки безопасные 4 — 798
 Грунтовка поверхностей 5 — 737
 Грунты лакокрасочные 6 — 385
 Гульдена — Паппа теорема 1 — 364
 Гуляева редукторы 1 — 507
 Гухмана и Илохина формула 2 — 145
 Гюйгенса окуляры 2 — 244
 Гульдена правила 1 — 111
- ## Д
- Давиденкова метод измерения деформации 3 — 492
 Давиденкова формула о температурном запасе вязкости 3 — 481
 Давление 2 — 9; 5 — 147; — Измерение 2 — 10, 455
 — в жидкости 2 — 454
 — газовых смесей после смешения 2 — 45

- допускаемое для муфт 4—204
- жидкости на стенку—Определение 2—457
- контактное допускаемое 3—481
- максимальное удельное на уплотнительных поверхностях арматуры вентильного типа 4—739
- на соприкасающихся поверхностях удельное 1—442
- наибольшее при контакте деталей машин—Формулы 3—419, 420
- паров химических элементов 2—321
- рабочее, условное и пробное для трубопроводной арматуры 4—735, 736
- радиальное в подшипниках качения 4—228, 229
- удельное в соединениях с гарантированным натягом 4—124, 125
- Даламбера признак** сходимости и расходимости рядов 1—150
- принцип 1—387, 391
- Даламбера—Эйлера условия** 1—196
- Дальтона закон** 2—45
- Даниеля элемент** 2—356
- Дарбу вектор** 1—292
- Датчики** 1—415; 3—380; — Включенные—Схемы 3—495; — Место установки 3—382
- для измерения деформаций 3—494, 495
- индуктивные 4—26, 30
- малобазные индуктивные 3—490
- проволочные 3—500, 505
- ЦНИИТМАШ 3—493
- электрические 1—416; 3—489
- Двигатели газовые—Циклы** 2—50
- поршневые—Циклы 2—51
- Двигатели постоянного тока** 2—381
- Механические характеристики 2—410
- Пуск 2—385
- Расчет сопротивлений 2—410
- Реверс 2—385
- Система управления и регулирования 2—420
- Схемы 2—442
- Двигатели постоянного тока ПН** 2—385
- краново-подъемные КПДН 2—388, 413
- металлургические МП 2—388, 413
- последовательного возбуждения—Расчет пусковых сопротивлений 2—414; Схема реверсивного управления 2—443; — Характеристика 2—412
- Двигатели реактивные—Циклы** 2—55,
- электрические—см. *Электродвигатели*
- Двигатель-генераторы** 2—378
- Движение—Устойчивость** 1—392
- винтовое 1—377
- вращательное 1—376
- жидкости 2—143, 467, 503, 507
- машины 1—425
- твердых тел 1—377, 379, 381, 398, 401
- Движение точки—График** 1—371
- криволинейное 1—372, 374, 384
- относительное 1—374, 388
- переменной массы 1—385
- прямолинейное 1—369, 370, 384
- Двойные интегралы** 1—184
- Двойные ряды** 1—312
- Деазраторы** 2—202
- Девиатор напряжений** 3—8
- Дегазация воды** 2—202
- Декалькомания** 5—741
- Декапирование химическое и электролитическое—Режимы** 5—720
- Декарта абак** 1—315
- Декартовы координаты—см. Координаты прямоугольные**
- Декремент—Изменение** 3—383
- Декстрин** 5—9
- Деление на арифмометре** 1—341, 345, 347
- на логарифмической линейке 1—338
- отрезка в данном отношении 1—238
- сокращенное 1—69
- шкалы 4—4
- Делители наименьшие чисел** 1—9
- Делительные головки оптические** 2—250; 4—118, 122
- Делительные окружности** 1—493
- Дельта-древесина** 3—431; 6—342
- Демпферы** 3—352
- Демпфирование колебаний** 3—350
- Депланация профиля** 3—169
- тонкостенных стержней при свободном кручении единичная—Эпюры 3—171, 175
- Депланирующие профили тонкостенных стержней** 3—169
- Деполаризаторы** 2—356
- Дерево—Гибкость** 3—319
- Запас устойчивости 3—309
- Коэффициент понижения допускаемого напряжения на сжатие 3—320
- Модуль поперечной упругости 3—22
- Модуль сдвига 3—22
- Деревообделочные инструменты** 6—162
- Державки для накатных роликов** 5—584
- Десульфурация стали** 5—53

- Детали** — Балансировка 1—422; 5—558—560
- Выбор формы 3—528
 - Выносливость — Влияние качества поверхности 3—464
 - Высадка холодная на прессах-автоматах 5—161
 - Гнутье из слоистых пластмасс 5—601
 - Деформации — Зависимость от температуры закалки 5—696—698
 - Дробеструйный наклеп 5—585
 - Заготовка — Конструирование 5—552
 - Механическая обработка — Приспособления 5—479
 - Напряжения остаточные после закалки 5—698
 - Неуравновешенность динамическая 5—560
 - Обработка без снятия стружки — Технология 5—568—589
 - Обработка дробеструйная 5—587
 - Оценка формы 3—528
 - Поверхности — Подготовка к гальваническим покрытиям 5—717
 - Подобие с моделями 3—525
 - Правка холодная 5—565, 566
 - Припуски на механическую обработку — Расчет 5—439
 - Промывка и очистка 5—752, 753
 - Термообработка 5—694
 - Уравновешивание 5—564
 - Формование из пластмасс 5—598, 600
- Детали высаженные** 5—175
- грузоподъемных машин специальные 4—764—810
 - для закрепления цепей и канатов 4—777
 - для захватывания грузов 4—778
 - из древесины — Допуски и посадки 5—619; — Обработка 5—616; — Обработка — Технология 5—628; — Размеры — Контроль — Калибры 5—621; — Сборка 5—616, 628, 633; — Соединения под углом 5—616, 617
 - из легких сплавов 3—462
 - из малопластичных и хрупких материалов — Несущая способность 3—443
 - из малопластичных материалов — Запас прочности 3—443
 - из материала в пластическом состоянии — Несущая способность 3—440
 - из неметаллических материалов — Производство 5—590—633
 - из термопластмасс — Штамповка 5—601
 - из фибры — Штампование вытяжкой 5—601
 - изготовленные на вертикальноковочной машине 5—129, 130
 - изготовленные на холодновысадочных прессах-автоматах 5—161
 - кованные — Конструирование 5—91, 92
 - листовые — Соединения 5—155—157
 - листоштампованные 5—137, 148
 - литые — Конструирование 5—76
- Детали машин** — Взаимозаменяемость 4—1
- Выносливость — Влияние маркировки 3—465
 - Давление наибольшее при контакте — Формулы 3—419, 420
 - Деформации 3—490
 - Испытание на трение и изнашивание 6—25
 - Контроль в процессе обработки 4—42
 - Напряжения при контакте 3—419, 420
 - Несущая способность 3—287
 - Перемещение при контакте 3—420
 - Расчет в условиях статического напряжения 3—439
 - Расчет с учетом пластических деформаций 3—271
 - Соединения с гарантированным натягом 4—124
 - Усталость — Примеры расчета 3—475
 - Чистота поверхности 4—51
 - Эксплуатационные характеристики — Влияние свойств поверхности 4—52
- Детали машин пластически деформированные (заклепанные)** 3—287
- металлокерамические 5—255—267
 - механизмов — Износ 1—438
 - отливаемые в металлические формы 5—62, 63
 - пластмассовые — Контроль 5—606; — Монтаж 5—605; — Прессование 5—590, 594, 595; — Размеры — Точность 5—592; — Хранение 5—606
 - сварные — Конструирование 5—221
 - сложные — Штамповка объемная 5—176
 - сопрягаемые 3—220, 227
 - стальные — Сварка 5—229
 - сферические 3—421, 422
 - типовые — Классификация 5—441; — Производство 5—496—566

- фасонные — Отливка центробежная — Схема 5 — 68
- целлюлозные — Производство вдуванием 5 — 600
- цилиндрические под действием осесимметричной нагрузки — Расчет 3 — 219—228
- чугунные — Коэффициент концентрации 3 — 461
- штампованные 5 — 91, 93, 129
- штампо-сварные 5 — 157, 158
- штампуемые — Точность 5 — 164
- Детонационное горение** 2 — 174
- Дефектоскопия люминесцентная** 6 — 83
 - магнитная порошковая 6 — 71
 - рентгеновская 6 — 75
 - ультразвуковая 2 — 255; 6 — 80, 81
- Дефектоскопы** 6 — 73
- Дефекты заливки подшипников** 5 — 512
- Деформации** 3 — 11
 - Измерение — Аппаратура 3 — 490, 517, 518
 - Интенсивность 3 — 13
 - Исследования — Выбор моделей 3 — 524
 - Методы покрытий 3 — 515, 516
 - Определение экспериментальное 3 — 488—534
 - Скорость — Зависимость от напряжения 3 — 289
 - Типы 3 — 12
- Деформации в пределах упругости** —
 - Выражения через напряжения 3 — 14
 - в стержнях от изменения температуры — Определение 3 — 24
 - главные — Определение по относительным деформациям 3 — 503, 504
 - деталей машин 3 — 499
 - деталей машин пластические — Расчет 3 — 271
 - динамические — Измерение 3 — 381, 489; — Измерение — Аппаратура 3 — 495
 - и напряжения в пределах упругости 3 — 14
 - изгиба — Энергия 3 — 95
 - крыльчатки 3 — 531
 - остаточные — Измерение тензодатчиками 3 — 491; — Определение 3 — 287
 - пластические — Выражение через напряжения 3 — 17; — Зависимость от напряжений и от времени 3 — 292; — Использование для повышения несущей способности 3 — 287; — Сопротивление 3 — 434; — Стадии 3 — 17
 - пластические местные — Расчет 3 — 518
- по разным направлениям в рассматриваемой точке 3 — 12
- при изгибе 6 — 9
- при кручении 6 — 10
- при повышенных температурах — Измерение датчиками 3 — 495
- пружин при ударе 3 — 398
- статические 3 — 490, 496
- стержней — Изменения в точке удара 3 — 396, 397; — Потенциальная энергия 3 — 23
- тонкостенных стержней 3 — 170, 173
- тонкостенных трубок 3 — 299
- угловые 3 — 12
- упругие 3 — 13
- Деформация активная** 3 — 17
 - алюминиевых и магниевых сплавов — Критические степени 5 — 136
 - балок от кручения 4 — 682
 - в стружке 5 — 272
 - вызываемая сваркой 5 — 224
 - гибких проволочных валов при изгибе и кручении 4 — 178
 - зубчатых колес 4 — 340, 341
 - и сила при калибровании отверстий 5 — 568
 - и сила при обкатывании 5 — 573
 - колец подшипников качения 4 — 227
 - контактная при установке заготовок на опоры 5 — 480, 481
 - однородная 3 — 13
 - пассивная 3 — 17
 - при сварке металлоконструкций — Устранение 5 — 248
 - пуансонов — Скорость 5 — 163
 - сдвига 3 — 26
 - стали 5 — 53, 696
- Деформирование** — Диаграмма истинная 3 — 17, 18
- Джоуля — Томсона эффект** 2 — 92
- Диаграмма $i-d$ Рамзина** 2 — 111
 - $p-v$ 2 — 38
 - $p-t$ 2 — 38
 - ударных полях 2 — 525
- Диаграммы векторные напряжений** 2 — 340
 - возбуждения колебаний 3 — 349
 - гармонического колебания векторные 3 — 333
 - деформирования 3 — 17, 18, 429
 - изгиба — Построение по диаграмме растяжения 3 — 271
 - изотермического превращения аустенита 6 — 108
 - кинетической энергии механизма — Построение 1 — 426

- комплексных однопрофильных погрешностей зубчатых колес 4—296, 297
- кручения 6—11 — Построение по диаграмме сдвига 3—277
- Максвелла — Кремоны — Построение 3—144
- механического состояния для бронзы 3—438
- напряжений истинных 6—7
- напряжений круговые 3—9
- перемещений 3—156
- пределов выносливости при растяжении — сжатии 3—468
- пределов прочности при асимметричных циклах 3—454
- предельных напряжений при асимметричных циклах 3—448
- предельных напряжений пружин при асимметричных циклах 4—646, 647
- распределения мощности сил трения по поверхностям 1—441
- растяжения 6—5
- сдвига 3—19; — Построение по диаграмме кручения 3—278
- сдвига и эпюры касательных напряжений в сечениях витков зановоленных пружин 4—641
- сдвига фаз между силами при колебаниях 3—337
- состояний железо — углерод 6—101
- суммарных рабочих напряжений в ремне 4—461
- удельного скольжения 1—442
- упругих параметров 3—130—134
- усилий в резьбовом соединении 4—529
- Диаметры** блоков и барабанов для стальных проволочных канатов 4—774
- валов от 1 до 500 мм — Допуски по системе ISA 4—82
- заклепок и болтов, штемпелей, сверл и матриц 5—240
- нормальные и длины 4—79, 80
- от 0,1 до 1 мм — Допуски 4—83, 86
- свыше 500 мм — Допуски 4—83, 86
- Диафрагмы** 2—494
- апретурные 2—233
- Дивергенция** 2—504
- вектора 1—232
- потенциального поля 1—234
- Динамика** 1—382
- механизмов и машин 1—424
- системы 1—388
- твердых тел 1—396
- тела переменной массы 1—399
- точки 1—383, 386
- электропривода 4—421
- Динамические испытания** 3—381
- Динамические перемещения** — Измерение — Электроаппаратура 3—381
- Динамометры** 5—287
- Диоды** 2—360, 361, 362
- Диоптрия** 2—233
- Диполь** 2—508, 512
- Директрисы** 1—243, 244
- Дирихле теорема** 1—306
- Диски вращающиеся** — Графический расчет 3—248
- Колебания собственные — Частота 3—377
- Напряжения за пределами упругости 3—281
- Ползучесть — Пример расчета 3—302
- Порядок расчета 3—301, 302
- Расчет за пределом упругости 3—280
- Расчет по методу Кинасошвили 3—262
- Расчет по методу Малинина 3—256
- Расчет по методу Тумаркина 3—241
- Диски вращающиеся гиперболического профиля** — Напряжения 3—240
- конические — Напряжения 3—239
- Диски вращающиеся переменной толщины** — Ползучесть установившаяся — Расчет 3—300; — Пример расчета 3—242; — Упругое и пластическое состояние 3—282
- без центрального отверстия неравномерно нагретые — Пример расчета на прочность 3—246
- неравномерно нагретые — Напряжения 3—243; — Пример графического расчета 3—250, 258
- равномерно нагретые — Расчет 3—241, 260
- Диски вращающиеся, посаженные на вал с натягом** — Расчет 3—260
- постоянной толщины — Напряжения 3—237; — Расчет 3—249
- с ободом и втулкой — Напряжения 3—238
- сплошные — Профилирование по эквивалентным допускаемым напряжениям 3—264
- Диски зубчатые** — Применение для возбуждения колебаний 3—386
- равнопрочные 3—239; — Профилирование графическим способом 3—254
- радиальных турбомашин — Расчет 3—248

- трения тормозов — Расчет 4—797
- фрикционные металло-пластмассовые для автомобильной промышленности 5—266
- фрикционных муфт 4—206
- Дискриминант** 1—147
 - квадратного трехчлена 1—88
- Дискриминантная кривая** 1—268
- Дисперсия света** 2—230
- Диссоциация продуктов горения** 2—175
 - электролитическая 2—354
- Диаметры жидкостные** 2—11
- Дифференциалы полные** 1—144, 145
 - функций 1—138, 139, 145
- Дифференциальная геометрия** 1—258—300
- Дифференциальное исчисление** 1—134—153
- Дифференциальное уравнение эффекта Джоуля — Томсона** 2—92
- Дифференциальные биномы — Интегрирование** 1—161
- Дифференциальные зубчатые механизмы** — см. *Механизмы зубчатые*
- Дифференциальные манометры** 2—11, 456
- Дифференциальные уравнения** 1—206—225
 - Решения приближенные 1—211
 - Системы 1—213
 - Способ последовательных решений 1—211
- Дифференциальные уравнения в полных дифференциалах** 1—208
 - в частных производных 1—224
 - вращения 1—396
 - высших порядков 1—213
 - криволинейного движения 1—384
 - линейные 1—215, 217
 - неоднородные 1—216
 - обыкновенные высших порядков 1—213
 - однородные 1—207
 - первого порядка 1—208; — Система 1—214
 - первого порядка обыкновенные 1—206
 - приводящиеся к уравнениям с постоянными коэффициентами 1—216
 - прямолинейного движения точки 1—384
 - с разделенными переменными 1—207
 - теплопроводности 2—116
 - термодинамики 2—43
- Дифференциальные функции распределения вероятности** 1—322
- Дифференцирование — Формулы** 1—139
 - графическое 1—143, 516
 - неявных функций 1—146
 - определенного интервала по параметру 1—174
 - функций 1—139
 - функций комплексного переменного 1—196
 - функций многих переменных 1—143
 - численное 1—304
- Диффракция света** 2—228
- Диффузионный отжиг** 5—668
- Диффузия металлов в металлах** 2—313
- Диффузоры** 2—486
 - Коэффициент потерь 2—487
 - Определение 2—90
- Дихлорметан — Свойства** 2—97
- Длиномеры** 4—18
- Длины и диаметры нормальные** 4—79, 80
- Доброхотова формула** 5—101
- Доводка** 5—415, 418, 419
- Доводочные инструменты** 5—416
- Доводочные станки** 5—420
- Долбяки зуборезные** 5—382, 383
- Износ допускаемый 5—278, 383
- Долговечность** 3—481
 - зубчатых колес конических — Расчет 4—365
 - зубчатых передач винтовых — Расчет 4—414
 - зубчатых передач цилиндрических закрытых — Расчет 4—335
 - зубьев червячных колес — Расчет 4—410
 - клиноремненных передач 4—481
 - подшипников качения расчетная 4—239
 - приводных ремней 4—463
- Доливо-Добровольского асинхронные двигатели с двойной клеткой** 2—396
- Доменный газ** 2—192
- Допускаемое контактное давление** 3—481
- Допускаемые напряжения** — см. *Напряжения допускаемые*
- Допуски — Методы назначения** 4—4
 - в системе ISA 4—79
 - в системе OCT 4—79
 - диаметра метрических резьб 4—506
 - диаметров болта и гайки метрических резьб 4—506
 - диаметров валов от 0,1 до 1 мм 4—84, 86
 - диаметров валов от 1 до 500 мм по системе ISA 4—82
 - для звеньев размерных цепей — Расчет 4—70
 - для зубчатых передач конических 4—312—316

- для зубчатых передач цилиндрических 4—297, 301—306
- для метрических резьб 4—501
- для прямоугольных труб 4—517
- для червячных передач 4—295, 316, 318—321
- для шлицевых соединений треугольных 4—602, 603
- Допуски и посадки 4—3**
 - гладких цилиндрических соединений 4—79
 - деталей из древесины 5—619
- Допуски калибров 5—105, 106**
 - на профиль резьбы накатных плашек 5—579
 - на размеры между калибровочными поверхностями деталей 5—134, 135
 - на сборку под сварку котельных конструкций 5—246
 - на смещение исходного контура цилиндрических зубчатых колес 5—306
 - на соединения деталей сварных конструкций 5—246
 - на толщину зуба конических зубчатых колес 4—316
 - на чертежах — Обозначения 4—811
 - на шаблоны и на наметку 5—237
 - размеров конических поверхностей 4—115, 117
- Допуски резьб буровых труб 4—517**
 - для диаметров 6—68 мм 4—503
 - дюймовых 4—512
 - конических 4—522
 - круглых 4—519
 - метрических для диаметров от 0,3 до 0,9 мм 4—507
 - метрических для диаметров от 1 до 5 мм 4—504
 - метрических тугих для диаметров от 8 до 48 мм 4—511
 - трапециoidalных 4—515
 - трубных цилиндрических 4—514
 - упорных 4—518
- Допуски резьбовых соединений 4—498**
 - толщины витка червяка 4—321
 - шлицевых соединений 4—595, 597, 600, 601
 - шпоночных соединений 4—584, 585
- Древесина 5—20**
 - Влажность 6—333
 - Гидротермообработка при горячем гнутье 5—632
 - Гнутье 5—631
 - Звукопроводность 6—334
 - Обработка 5—629
 - Разбухаемость 6—333
 - Свойства 6—329—332
 - Склеивание 5—630
 - Степень колкости 5—618
 - Сушка 5—628
 - Усушка 6—333
- Древесина пластифицированная 4—279; 6—337**
- Древесные материалы 6—334**
- Дренажные колпачки 2—196**
- Дробеметы 5—588**
- Дробеструйный наклеп 5—585**
- Дроби 1—62**
 - десятичные 1—62
 - непрерывные 1—71, 73
 - обыкновенные 1—64
 - периодические 1—62, 64
- Дробнолинейные функции 1—90**
- Дрова — Характеристики физико-химические 2—184**
- Дросселирование газа и пара 2—92**
- Дроссельные затворы — см. Затворы дисковые**
- Дуги — Длина 1—37, 39, 190, 259, 283**
 - зацепления 1—493
 - окружности — Длина в градусах — Перевод в радианы 1—39; — Спрямление 1—281
 - пространственных кривых — Длина 1—283
- Дуговая сварка — см. Сварка дуговая**
- Дункерля формула 3—367**
- Дуплекс-процесс 5—46—48**
- Дуралюмин — Гибкости 3—319**
- Предел выносливости — Влияние антикоррозионной защиты 3—466, 467
- Дюймовые резьбы 5—512**
- Дюймы — Перевод в миллиметры 1—537, 539**

Е

- е — Основание натуральных логарифмов 1—135**
- Таблицы величин, связанных с e 1—7
- Единицы — Системы 1—383**
 - вязкости — Соотношения 2—451
 - давления 2—455; — Перевод одних в другие 1—543
 - измерения абсолютной практической рационализованной системы 2—328
 - измерения магнитные 2—329
 - измерения механические 2—328
 - измерения электрические 2—328
 - механические 1—382

- мощности общетехнические — Соотношение с электрическими 2 — 330
- мощности электрические — Соотношение с общетехническими 2 — 330
- работы электрические — Соотношение с общетехническими 2 — 330
- световых величин 2 — 224
- энергетические — Перевод одних в другие 1 — 544
- энергии электрические — Соотношение с общетехническими 2 — 330
- Емкость конденсатора 2 — 331
- щелочных аккумуляторов 2 — 359
- Ермакова признак сходимости рядов 1 — 150

Ж

- g* (ж) ускорение силы тяжести 1 — 372, 383
- Таблицы величин, связанных с *g* 1 — 8
- Железнение — Продолжительность осаждения металла 5 — 726
- Железо волнистое — Сечение — Геометрические характеристики 3 — 43
- Железобетон — Модуль продольной упругости 3 — 22
- Железографитовые подшипники скольжения пористые 4 — 277
- Железокерамика — Свойства 5 — 259
- Жесткость — Единицы измерения — Пересчет в миллиграммэквиваленты — Таблица 2 — 194; — Определение 3 — 514
- балок — Расчет 3 — 95
- брусьев — Расчет 3 — 21
- брусьев при кручении обобщенная 3 — 297
- вала 3 — 28
- воды 2 — 193
- динамическая 3 — 337, 338, 361, 362
- мембран — Расчет 3 — 211, 212
- на изгиб 3 — 96
- оболочек большой гибкости — Расчет 3 — 210
- опор 3 — 373
- пружин 3 — 214, 354; 4 — 640
- прямых валов — Расчет 4 — 140
- рессор — Расчет 4 — 655
- сильфонов — Расчет 3 — 213, 216
- систем рычажных 3 — 355
- среды акустическая 6 — 81
- стержней 3 — 23; — Формулы расчетные 3 — 353

- стержней сварных ферм — Проверка 4 — 685
- струн натянутых 3 — 354
- трубок толстостенных — Расчет 3 — 214, 215
- фасонных витых пружин 4 — 640
- шатунных болтов 4 — 495
- элементов конструкций для продольных колебаний 3 — 353
- Жидкое топливо — см. *Топливо жидкое*
- Жидкости — см. также *Жидкость реальная*
- Давление 2 — 454, 457, 467
- Движение 2 — 503
- Движение безвихревое 2 — 507, 512
- Движение в трубопроводах 2 — 467, 470
- Движение в щелях 2 — 467
- Движение вихревое 2 — 513
- Движение вынужденное — Теплоотдача 2 — 143
- Движение потенциальное 2 — 506
- Движение равномерное безнапорное 2 — 476
- Движение равномерное напорное 2 — 467
- Истечение 2 — 90, 466, 467, 478, 482
- Кипение — Теплоотдача 2 — 148
- Коэффициент объемного расширения 2 — 15, 140
- Коэффициент теплопроводности 2 — 123
- Объемный модуль упругости 2 — 450
- Поверхностное натяжение 2 — 454
- Покой относительный 2 — 460—462
- Поток ламинарный 2 — 467—469
- Режим ламинарный 2 — 467, 470
- Режим турбулентный 2 — 470
- Свойства 2 — 449
- Температура плавления 2 — 38
- Теплоотдача при течи в трубах и каналах 2 — 143
- Теплота 2 — 61
- Течение турбулентное — Теплоотдача 2 — 144
- Удельный вес 2 — 450
- Удельный объем — Определение 2 — 15
- Циркуляция скорости 2 — 504
- Жидкости вязкие — Движение — Условия граничные 2 — 514—516
- капельные — Коэффициент вязкости динамический 2 — 452
- охлаждающие для сверления 5 — 325
- Жидкостная цементация 5 — 685
- Жидкостное цианирование 5 — 688
- Жидкостные вакуумметры 2 — 11
- Жидкостные дифманометры 2 — 11
- Жидкостные манометры 2 — 10, 456

- Жидкостные приборы для измерения давления** 2 — 10, 456
- Жидкость реальная** — Уравнение для потока 2 — 463
- Движение установившееся относительное — Уравнение потока 2 — 465
- Движение неустановившееся — Уравнение потока 2 — 464
- Жидкотекучесть** графитизированной стали 6 — 242
- чугуна 6 — 205
- Жироскопы** — см. *Гироскопы*
- Жордана лемма** 1 — 201
- Жуковского руль** 2 — 511
- симметричный профиль 2 — 511
- теорема 1 — 421
- формула 2 — 493
- функция 1 — 205; 2 — 511
- Жуковского — Грюэ правило** 1 — 399

3

- Заглушки** 4 — 149, 151
- Заготовки** — Нагрев 5 — 101
- Обработка на станках — Погрешности закрепления 5 — 447, 448
- Осадка при ковке 5 — 109
- Правка холодная 5 — 565
- Размеры предельные для обкатывания — Расчет технологический 5 — 574
- Раскрой угла для вытяжки коробки 5 — 144
- Расположение неровностей при вытяжке 5 — 143, 144
- Установка на опоры — Деформации контактные 5 — 480, 481; — Коэффициент трения 5 — 480, 481
- Заготовки деталей машин** — Конструирование 5 — 552
- для валов 5 — 496
- для зубчатых конических колес 5 — 533
- для зубчатых цилиндрических колес 5 — 521
- для подшипниковых вкладышей 5 — 506, 515
- для подшипниковых втулок 5 — 504
- для рычагов 5 — 537
- из древесины — Гнутье холодное 5 — 631
- из проката — Припуски на обработку — Нормативы для расчетов 5 — 447, 449—456
- кованные и штампованные — Припуски на обработку — Нормативы для расчета 5 — 447, 457—470
- литые — Припуски на обработку — Нормативы для расчета 5 — 447, 471—473
- плоские для протяжки — Размеры — Определение 5 — 146
- поковок — Размеры 5 — 109
- профильных роликов для правки шлифовальных кругов — Размеры 5 — 410
- стальные — Анодно-механическое резание — Режимы 5 — 648; — Нагрев перед ковкой 5 — 101; — Сортамент 6 — 170
- штампо-сварные — Классификация технологическая 5 — 158
- Задача о трех резервуарах** — Графическое решение 2 — 500
- Задвижки** 2 — 490; — Коэффициент сопротивления 2 — 490
- клиновые — Усилия вдоль шпинделя 4 — 746
- Заделка пластинок для резцов** 5 — 297
- Задирание деталей механизмов** 1 — 439
- Задание зубьев зубчатых колес** 4 — 349
- Зажимные устройства** — Расчетные формулы 5 — 483, 484
- автоматические 5 — 488
- гидравлические 5 — 487—489
- комбинированные 5 — 483, 485, 486
- пневматические 5 — 483, 486, 487
- пружинные 5 — 487
- с гибким тросом 5 — 489
- Зажимы гидравлические** 5 — 487
- комбинированные 5 — 483, 485
- многогранные механические 5 — 483, 486
- эксцентриковые — Характеристики технические 4 — 784, 785
- Зазоры** — Определение 4 — 2
- в подшипниках качения 4 — 227, 231
- в подшипниках скольжения относительные 4 — 273
- посадок 4 — 103
- при электросварной прошивке отверстий 5 — 653
- Закалка** — Сравнение обычной и изотермической 5 — 674
- отливки из высокопрочного чугуна изотермическая 5 — 710
- поверхностная — Методы — Характеристика 5 — 678
- стали 5 — 670
- шестерен ступенчатая — Влияние на конусность и эллипсность венца 5 — 701
- Закатка** 5 — 142
- Заклепки** — Диаметры 5 — 240; — Изображение условное на чертежах 4 — 816

- в плотных швах — Прочность — Расчет 4—668
- в прочных швах — Напряжения допускаемые 4—670
- пустотелые 5—173
- Заклепочные соединения плотные —**
- Прочность — Расчет 4—669
- Заклепочные швы плотные с накладками —**
- Пример расчета 4—669
- прочно-плотные — Параметры 4—669
- прочные — Параметры 4—670
- Закон Авогадро 2—45**
- Архимеда 2—459
- Био — Фурье 2—116
- Гаусса 1—323
- Дальтона 2—45
- Кулона 1—357; 2—330
- Ламберта 2—156
- Ленца 2—333
- Ленца — Джоуля 2—338
- Ньютона второй 1—383, 386
- Ньютона первый 1—383
- Ньютона третий 1—383
- Ньютона — Рихмана 2—125
- Ома 2—337, 340, 354
- Паскаля 2—455
- Пуазейля 2—467
- Стефана — Больцмана 2—153
- Фарадея 2—356
- биномиальное распределения вероятности 1—323
- больших чисел 1—328
- всемирного тяготения 1—384
- действия и противодействия 1—383
- инерции 1—383
- магнитной цепи 2—337
- независимости действия сил 1—384
- об ускорении и силе 1—383
- отражения света 2—228
- периодический 2—269
- полного тока 2—332
- преломления света 2—228
- распределения случайной величины 1—322
- соответственных состояний 2—60
- сохранения механической энергии 1—387
- термодинамический второй 2—41
- термодинамический первый 2—40
- Законы арифметических действий 1—63**
- Кирхгофа 2—338
- трения 1—434
- Закрепление цепей и канатов 4—777**
- Закругления 5—22**
- Закручивание 5—113**
- гибких проволочных валов 4—179
- Заливка подшипников 4—274; 5—506, 511, 512**
- Замки зажимные 5—485**
- соединения протяжек 5—365
- соединительные к бурильным трубам 4—525
- Замкнутая система 2—160**
- Заневоливание пружин 4—641**
- Запас долговечности 3—481**
- Запас прочности 3—482; — Определенные 3—434; Формулы 3—441; — Расчетные формулы 3—474**
- в условиях статического напряжения 3—439
- для вала паразитной шестерни — Пример расчета 3—447
- для малопластичных материалов 3—443
- для плоского напряженного состояния 3—453
- по деформациям 3—440
- по перемещениям 3—444
- по пределу текучести 3—440
- по разрушающим нагрузкам для сечений 3—442
- по сопротивлению пластическим деформациям 3—454
- по сопротивлению усталости 3—450
- по статической несущей способности — Расчет 3—453
- по усталости 3—452, 453
- Запорные устройства 2—490**
- Заправочные устройства для смазки 4—710**
- Заряд конденсатора 2—331**
- пространственный 2—360
- Заряды аккумуляторных батарей 2—358**
- Затачивание анодно-механическое твердосплавных инструментов 5—648**
- Затворы дисковые 2—490; — Коэффициент сопротивления 2—491**
- конусные 2—491; — Коэффициент сопротивления 2—491
- трубопроводной арматуры — Материалы 4—735
- Затылование зубьев у фрез 1—276; 5—338**
- поверхностей у фрез 5—338
- Затяжка резьбовых соединений — Выбор величины 4—534; — Напряжения — Контроль 4—534**
- шатунных болтов 4—495
- шпилек фланцевого соединения паропровода 3—293
- Заусенцы — Образование при штамповке — Схема 5—93**
- поковок при штамповке — Обрезка и зачистка 5—133

- Захваты для кип и ящиков 4—785
 — для штучных грузов 4—785
- Зацепления зубчатые 1—437, 493; 4—367
- Зацепления зубчатых колес — Коррекция 4—328; — Расчет геометрический 4—328
 — конических — Размеры контрольные — Определение 4—316; — Расчет геометрический 4—359; — Углы 4—363
 — корригированных 4—323
 — паллоидные — Расчет геометрический 4—363
 — цилиндрических косозубых — Дополнительные элементы — Определение 4—401
 — цилиндрических прямозубых — Дополнительные элементы — Определение 4—399
 — эвольвентных 4—321; — Расчет геометрический 4—323
- Зацепления зубчатых передач — Геометрия — Расчет табличный 4—378
 — конических с прямозубыми колесами — Расчетные формулы 4—316
 — цилиндрических — Контрольные размеры — Определение 4—308
- Зацепления цевочные 1—495
 — циклоидальные 1—494
 — червячных передач 4—378, 406, 408
 — эвольвентные 1—493
- Зачистка 5—140
 — заусенцев поковок при штамповке 5—133
- Зашелки 5—491
- Защитные кожухи у шлифовальных кругов — Расположение 5—414
- Звездочки втулочно-роликовых цепей — Число оборотов 4—426
 — зубчатых цепей — Зубья — Профили — Параметры 4—422; — Число оборотов 4—426
 — приводные для пластических шарнирных цепей 4—773
 — с необработанными зубьями для приводных цепей 4—434
 — цепей 4—421; — Делительная окружность — Диаметр 4—421; — Шаг — Определение 4—424
 — цепных передач — Зубья — Число 4—424; — Расстояние между центрами 4—425
- Звенья размерных цепей 4—56, 70
 — замыкающие — Поля рассеяния — Расчет 4—65, 73
 — компенсирующие — Номинал — Расчет 4—72
 — составляющие — Расчетные формулы 4—66
- Зворыкина силовая схема 5—273
 — формула 5—274
- Звук — Отражение 2—259
 — Поглощение 2—259
 — Физические характеристики 2—254
- Звуки сложные 2—258
- Звуковая тень 2—255
- Звуковые волны — Длины 2—255
- Звуковые спектры 2—258
- Звукоизоляция 2—263, 267
- Звукопередача вибрационная 2—263
- Звукопоглотители резонансные 2—261
- Звукопоглощение резонансное 2—261
- Звукопроводность 2—259
 — древесины 6—334
- Звукопроницаемость древесины 6—334
- Зенкование 5—328, 509
 — Время основное (технологическое) 5—331
 — Мощность эффективная 5—331
 — Сила резания 5—331
 — Скорость резания 5—331
- Зенкеры 5—241, 328, 329
 — Износ допускаемый 5—278
 — Режимы резания 5—331
 — Режущие части — Геометрические параметры 5—329, 330
 — Скорость резания — Коэффициент поправочный 5—331
 — Стойкость 5—331
- Зенковки — Характеристика 5—322
- Зеркала параллельные — Прохождение луча 2—229
 — плоские — Схема отражения луча 2—229
- Зеркально-линзовые объективы 2—244
- Зерна шлифовальные — Номера зернистости 5—395
- Зернистость абразивного материала 5—395
- Зинтеркорунд 6—377
- Золотник — Силы действующие — Расчет 4—743
- Золочение — Продолжительность осаждения металла 5—726
 — Режимы 5—715, 724
- Зонды электромагнитные 6—65
- Зубодолбежные станки — Технические характеристики 5—524
- Зубодобление — Мощность 5—393
 — Сила резания 5—393
- Зубозакругляющие станки — Технические характеристики 5—525
- Зубонарезание 5—374
 — Время основное 5—393
 — Охлаждающие жидкости 5—391
 — Поддачи рекомендуемые 5—391
 — Режимы резания 5—391

- Зубопритирочные полуавтоматы** — Технические характеристики 5 — 523
- Зуборезные инструменты** — см. также *Головки зуборезные; Гребенки зуборезные; Долбяки зуборезные; Резцы зуборезные; Фрезы пальцевые; Фрезы червячные* и т. д.
- Износ допускаемый 5 — 278
 - Конструкция 5 — 376
 - Параметры геометрические 5 — 390
 - Применение 5 — 376
 - Скорость резания 5 — 393
 - Стойкость 5 — 391
 - Углы 5 — 390, 391
- Зубострогальные полуавтоматы для нарезания конических колес** 4 — 73
- Зубофрезерные станки** — Технические характеристики 5 — 523
- Зубошлифование зубчатых цилиндрических колес** 5 — 521
- Зубчатки пластмассовые** 4 — 357
- Зубчатое колесо-венец** 5 — 529
- Зубчато-храповые муфты** — см. *Муфты зубчато-храповые*
- Зубчатые венцы** — Профилирование — Методы 5 — 374
- Зубчатые зацепления** — см. *Зацепления зубчатые*
- Зубчатые колеса** — Зацепления — Коррекция 4 — 328
- Зубья 4 — 323
 - Заедание 4 — 340, 341, 343, 349
 - Зубья бочкообразные 4 — 349
 - Изображение на чертежах 4 — 815
 - Конструкция 4 — 352
 - Коррекция 4 — 322
 - Коэффициент жесткости 4 — 346
 - Коэффициент материала 4 — 337, 338
 - Коэффициент перегрузки 4 — 347
 - Коэффициент передаточного числа 4 — 348
 - Коэффициент точности 4 — 342
 - Коэффициент формы зуба 4 — 347
 - Материалы 4 — 356
 - Межцентровое расстояние — Определение — Номограмма 4 — 224
 - Мощность — Допускаемое отношение к числу оборотов 4 — 336
 - Ограничение по модулю в смещении исходного контура 4 — 403
 - Параметры 4 — 351
 - Погрешность кинематическая 4 — 296
 - Посадка на валы 4 — 354
 - Посадка стальных бандажей на чугунные центры — Натяги 4 — 353
 - Пример расчета 4 — 348
 - Рабочие чертежи 4 — 354
 - Рейки исходные 4 — 323
 - Спицы — Формы 4 — 352
 - Точность 4 — 349
- Зубчатые колеса бандажированные** — Конструкция 4 — 353
- Зубчатые колеса конические** 4 — 358
- Допуски на толщину зуба 4 — 316
 - Зацепления — Размеры контрольные — Определение 4 — 316; — Расчет геометрический 4 — 359
 - Зацепления паллоидные — Расчет геометрический 4 — 363
 - Зубья — Расчет 4 — 369
 - Зубья с нулевым наклоном 4 — 365
 - Контроль технический 5 — 534
 - Наименьшее утонение зуба 4 — 315
 - Нормы кинематической точности 4 — 313
 - Нормы контакта зубьев 4 — 314
 - Нормы плавности работы 4 — 313
 - Обработка — Оборудование 5 — 533; — Технологический маршрут 5 — 534—536
 - Технология 5 — 533
 - Производство — Технические условия 5 — 533
 - Размерные группы 5 — 533
 - Расчет на долговечность и прочность изгибу 4 — 365
 - Углы зацепления 4 — 363
 - Типы 5 — 533
- Зубчатые колеса конические косозубые** — Рабочие чертежи 4 — 362
- прямозубые — Зубья — Незаостренная — Проверка уточненная 4 — 394; — Коэффициент перекрытия — Уточненное определение 4 — 395; — Формулы и пример расчета 4 — 391, 392
 - с валом 5 — 528
 - с круговыми зубьями — Расчет геометрический 4 — 359
 - спиральные 5 — 394
- Зубчатые колеса корригированные** — Зацепления 4 — 323
- косозубые 4 — 321 — см. также *Зубчатые колеса цилиндрические косозубые*
 - литые — Ободья 4 — 352
 - пластмассовые — Расчет 4 — 349
 - прямозубые 4 — 321; — Коэффициент зацепления 4 — 342; — Ошибки в шаге 4 — 344
- Зубчатые колеса цилиндрические** 4 — 321
- Зацепления — Контрольные размеры — Определение 4 — 308
 - Зацепления эвольвентные 4 — 321, 323
 - Зубошлифование 5 — 521
 - Зубья — Расчет 4 — 369
 - Измерение — Схема 4 — 48

- Исходный контур — Наименьшее смещение 4 — 305
- Контроль технический 5 — 529
- Нормы кинематической точности 4 — 301
- Нормы колебаний и отклонений измерительного межцентрового расстояния 4 — 304
- Нормы плавности работы 4 — 302
- Обработка — Оборудование — Технические характеристики 5 — 521—524, 525
- — Технологические маршруты 5 — 526—529
- Обработка термическая 5 — 528
- Производство — Технические условия 5 — 520
- Размерные группы 5 — 520
- Смещение исходного контура — Допуски 4 — 306
- Типы 5 — 519
- Шевингование 5 — 520
- Элементы контролируемые 4 — 300, 306, 307
- Зубчатые колеса цилиндрические косо-зубые** — Зацепления — Дополнительные элементы — Определение 4 — 401; — Зубья — Незаострение — Проверка уточненная 4 — 394; — Коэффициент перекрытия — Уточненное определение 4 — 395; — Формулы и примеры расчета 4 — 384—386, 390
- с высотной коррекцией — Табличный расчет 4 — 397
- Зубчатые колеса цилиндрические прямо-зубые** — Зацепления — Дополнительные элементы — Определение 4 — 399; — Зубья — Незаострение — Проверка уточненная 4 — 394; — Коэффициент перекрытия — Уточненное определение 4 — 394; — Формулы и примеры расчета 4 — 380, 381, 383
- с высотной коррекцией — Табличный расчет 4 — 396
- Зубчатые колеса червячные** — Контроль технический 5 — 532
- Нарезание — Подача фрезы 5 — 530
- Обработка — Оборудование 5 — 530, 532
- — Технология 5 — 530
- Производство — Технические условия 5 — 530
- Размерные группы 5 — 530
- Типы 5 — 529
- Зубчатые колеса шевронные** 4 — 321
- Канавки — Ширина 4 — 354
- Зубчатые муфты** — см. *Муфты зубчатые*
- Зубчатые механизмы** — см. *Механизмы зубчатые*
- Зубчатые пары** 1 — 495, 511, 513
- Передаточное число 4 — 321
- Зубчатые передачи** 1 — 495; 4 — 291—404
- Допуски 4 — 295
- Зацепления — Геометрия — Расчет табличный 4 — 378
- Зубья — Графики заострения 4 — 369—371
- Коэффициент перекрытия 4 — 371
- Коэффициент смещения — Выбор 4 — 366
- — Пример подбора 4 — 375
- Коэффициент тангенциального смещения 4 — 369
- Коэффициент числа циклов напряжений 4 — 339
- Коэффициент ширины 4 — 351
- Обозначения 4 — 291
- Обработка — Методы 4 — 298
- Определения 4 — 291
- Параметры 4 — 293
- Передаточные отношения 4 — 292
- Применение 4 — 298
- Расчет на нагрев 4 — 350
- Расчет на прочность 4 — 329
- Скорости окружные 4 — 293
- Характеристики 4 — 285
- Зубчатые передачи винтовые** 4 — 414
- конические 1 — 496; — Допуски 4 — 312—316; — Измерительный межосевой угол — Нормы колебаний и отклонений 4 — 314; — Предельные погрешности межосевого угла 4 — 316
- открытые — Расчет на прочность 4 — 343
- переключаемые 1 — 501, 502
- плоско-цилиндрические 1 — 496
- с прямозубыми колесами — Зацепления — Расчетные формулы 4 — 316
- цепные — Пример расчета 4 — 431
- Зубчатые передачи цилиндрические** — Допуски 4 — 297, 301—306
- Зацепления — Контрольные размеры — Определение 4 — 308
- К. п. д. 4 — 350
- Межцентровое расстояние — Отклонение 4 — 306
- Нормы контакта зубьев 4 — 303
- Расчет на долговечность 4 — 335
- Смазка 4 — 351
- Зубчатые приборы** 4 — 13 — см. также *Индикаторы*
- Характеристики 4 — 27
- Зубчатые сцепления** 4 — 815
- Зубчатые храповые механизмы** — см. *Механизмы храповые зубчатые*

- Зубчатые (бесшумные) цепи** — см. *Цепи зубчатые (бесшумные)*
- Зубья** — Фланкирование 5 — 375
- звездочек зубчатых цепей — Профили — Параметры 4 — 422
- звездочек цепных передач — Число — Определение 4 — 424
- Зубья зубчатых колес** 4 — 323
- Заедание 4 — 349
- Коэффициент деформации и эквивалентного времени 4 — 340, 341
- Коэффициент формы 4 — 347
- Расчет по прочности на изгиб 4 — 343
- Зубья зубчатых колес бочкообразные** 4 — 349
- конических 4 — 365, 369, 394
- цилиндрических 4 — 369, 394
- Зубья** протяжек рабочие — Шаг — Определение 5 — 366
- резьбонарезных инструментов рабочие — Число 5 — 360
- фрез 5 — 338
- червячных колес 4 — 410, 412
- шлицевых соединений — Допускаемые напряжения на смятие 4 — 595
- эвольвентные — Корригирование 1 — 494

И

- Игнатъева метод сварки** 5 — 190
- Игнитроны** 2 — 368
- Игра осевая** в сферических радиальных шарикоподшипниках качения 4 — 232
- валов 4 — 232
- «Идеальная» рессора** 4 — 655
- Известняк** — Модуль продольной упругости 3 — 22
- Известь** — Характеристика 2 — 200
- Извлечение квадратных корней** на арифмометре 1 — 341
- на логарифмической линейке 1 — 377
- сокращенное 1 — 69
- Извлечение кубических корней** на логарифмической линейке 1 — 337
- Изгиб** — Энергия деформации 3 — 95
- балок 3 — 50, 104, 106, 107
- брусев 3 — 271
- гибких проволочных валов — Напряжения и деформации 4 — 178
- и кручение 3 — 107
- кручение и растяжение брусев 3 — 279
- стержней слабоизогнутых консольных в плоскости вращения — Расчет 3 — 232

- стержней слабоизогнутых консольных из плоскости вращения — Расчет 3 — 234
- Изгибающие моменты** в балках многопролетных 3 — 66
- на упругом основании при неподвижной нагрузке 3 — 66
- неразрезных постоянного сечения с равными пролетами 3 — 69
- однопролетных 3 — 50
- при подвижной нагрузке 3 — 78
- при сложном сопротивлении 3 — 103
- Изгибающие моменты** в защемлении — Определение 3 — 514
- в кривошипных головках 4 — 494
- в сечении стержня — Определение 3 — 514
- для балок с двумя равными грузами 3 — 78
- для рессор — Расчетные формулы 4 — 654, 656
- поперечного кругового сечения суммарные 3 — 110
- при продольно-поперечном изгибе 3 — 107
- шатунов кривошипно-шатунных механизмов 4 — 492, 493
- Изделия** — Конусность и корсетность — Определение 4 — 35, 36
- керамические кислотоупорные 6 — 380
- металлокерамические 5 — 255, 260, 264, 266; 6 — 318, 324
- пластмассовые 6 — 349
- резьбовые 4 — 47
- Изложницы** для стальных слитков 6 — 223
- для центробежного литья 5 — 67
- Излучение материалов** полное — Степень черноты 2 — 154
- металлов полное — Степень черноты 2 — 154
- полусферическое — Плотность 2 — 153
- тепловое 2 — 114
- Изменяемость мгновенная** 3 — 141
- Измерение** — Выбор методов 4 — 6; — Погрешности 4 — 5; — Производительные и автоматические методы 4 — 37
- больших диаметров 4 — 113
- валов 4 — 111, 114
- зубчатых колес цилиндрических — Схема 4 — 48
- конусов — Схема 4 — 46
- наружных размеров 4 — 113
- отверстий 4 — 111, 112
- плиток — Интерференционные методы 4 — 21, 22

- плоскостности 4 — 21, 32
- прямолинейности 4 — 32
- скоростей газа 2 — 526
- сопротивлений тока 2 — 374
- технического в машиностроении 4 — 1—54 — Термины 4 — 4
- углов — Схема 4 — 46
- углов и конусов 4 — 118, 122
- электрических величин 2 — 373
- Измерители деформаций статических**
- электронные** 3 — 492
- Измерительная аппаратура** 1 — 415
- Измерительное усилие** 4 — 4
- Измерительные инструменты** 6 — 163
- Измерительные линейки** — Характеристики 4 — 9
- Измерительные машины концевые** 4 — 17; — Характеристики 4 — 29
- штриховые 4 — 16; — Характеристики 4 — 29
- Измерительные микроскопы** 4 — 20 — Характеристики 4 — 28
- Измерительные приборы** 4 — 27 — см. также *Приборы для измерения давления*
- для определения микротвердости 2 — 252
- оптические 2 — 249
- электрические 4 — 25, 30
- Измерительные средства** — Типы и нормы точности 4 — 6
- Измерительные устройства для контроля в процессе обработки** 4 — 42
- токосъемные на вращающихся деталях 3 — 496
- Изнашивание** — Испытания 6 — 25, 28
- деталей в машинах — Испытания 6 — 31
- Износ** — Величина 6 — 26; — Распределение по поверхности трения 1 — 440
- абразивный 1 — 439
- быстрорежущих резцов допускаемый 5 — 277
- деталей в механизмах 1 — 438, 443
- долбяков допускаемый 5 — 278
- зенкеров допускаемый 5 — 278
- зуборезных инструментов допустимый 5 — 276—278
- коррозионный 1 — 439
- притира 5 — 416
- протяжек допускаемый 5 — 276
- разверток допускаемый 5 — 278
- режущих инструментов 5 — 275
- резцов 5 — 278, 305
- сверл 5 — 278, 325
- твердосплавных резцов 5 — 277
- фрез 5 — 278, 347
- Износостойкость инструментов при электроискровой обработке** 5 — 655
- стали конструкционной — Влияние высокочастотной поверхностной закалики 5 — 677
- стали после термообработки 5 — 684
- Изобарический процесс** 2 — 47
- Изображение в оптической системе** — Построение 2 — 231
- Изображение наглядное в чертежах** 4 — 810
- Изогнутость поверхностей** — Определение 4 — 35
- Изогональная траектория** 1 — 271
- Изоклины** 1 — 211
- и траектории напряжений в плоских моделях 3 — 525
- Изоляции показатели зубчатых зацеплений** 4 — 367
- Изолированные точки кривой** 1 — 263
- Изоляционные материалы** — Коэффициент теплопроводности 2 — 119; — Объемный вес 2 — 119; — Свойства 2 — 343
- Изостаты** 3 — 19
- в плоских моделях 3 — 525
- Изотермическая закалка** 5 — 671, 673
- Изотермический отжиг** 5 — 667
- Изотермический процесс** 2 — 47
- Изотопы радиоактивные** — Применение в качестве индикаторов 2 — 273, 279
- Изотропные точки** 3 — 526
- Изохорический процесс** 2 — 47
- Изэнтропический процесс** 2 — 520
- Импеданс механический** 3 — 338
- Импульс силы** 1 — 386
- ударный 1 — 402
- Инварианты** 1 — 247
- напряженного состояния 3 — 9
- Инверсоры** 1 — 466
- Липкина 1 — 466
- Индекс пружин** 4 — 626
- Индикаторы** 4 — 13; — Характеристики 4 — 27
- радиоактивные — Применение радиоактивных изотопов 2 — 273, 279
- рычажно-зубчатые 4 — 14; — Характеристики 4 — 27
- Индуктивные датчики** 4 — 26; — Характеристики 4 — 30
- Индукционная пайка** 5 — 213
- Индукция электромагнитная** 2 — 332
- Индустриальные смазки** — см. *Смазки индустриальные*
- Инструментальные конусы** 4 — 117
- Инструментальные материалы** 5 — 278, 279; 6 — 161

- Инструменты** — см. также по их названиям, например *Абразивные инструменты*; *Зуборезные инструменты*; *Режущие инструменты* и т. п.
- Поддача 5—270
 - Силовая схема Зворыкина 5—273
- Инструменты для обкатывания поверхностей** 5—571
- для обработки зубчатых венцов незвольвентного профиля 5—388
 - для обработки отверстий 5—547
 - для правки шлифовальных кругов 5—407, 409
 - литые 5—287
 - сломанные — Извлечение электроискровым способом 5—663
 - точечных машин рабочие 5—194
- Интеграл Мора** 3—152; 4—636
- Стильтеса — Вычисление 1—192
 - Фурье 1—308
 - Эйлера 1—178
- Интегралы** — Среднее значение — Теорема 1—173
- $\int M M_k ds$ 3—152
 - вероятностей 1—324
 - двойные 1—184
 - для швеллеров — Значения 3—186
 - кратные 1—184
 - криволинейные 1—186
 - линейные вектора 1—233
 - неопределенные — Свойства 1—154; — Связь с определенными 1—173; — Таблицы 1—154, 165
 - несобственные 1—174, 177; — Сходимость и расходимость — Признаки Коши 1—176
- Интегралы определенные** 1—172
- Вычисление 1—182
 - Дифференцирование по параметру 1—174
 - Интегрирование по параметру 1—173, 174
 - Переменная — Замена 1—173
 - Связь с неопределенными 1—173
 - Таблицы 1—178
- Интегралы от биномиальных дифференциалов** 1—161
- от иррациональных функций — Таблицы 1—168
 - от нечетных функций 1—174
 - от рациональных функций — Таблицы 1—165
 - от трансцендентных функций — Таблицы 1—170
 - от четных функций 1—174
 - по комплексным переменным 1—196
 - по поверхности 1—187
 - расходящиеся 1—175
 - сходящиеся 1—174
 - тройные 1—185
 - уравнения движения 2—505
 - эллиптические — Таблицы 1—59
- Интегральное исчисление** 1—154—193
- Приложение к геометрии и механике 1—189
- Интегральные функции распределения вероятности** 1—322
- Интегральный косинус 1—164
 - Интегральный логарифм 1—164
 - Интегральный признак сходимости рядов 1—150
 - Интегральный синус 1—164
 - Интеграторы 1—343
 - Интеграфы 1—343
 - Интегрирование 1—155
 - Метод Остроградского 1—159
 - Применение 1—189—191,
 - Предел верхний 1—172
 - Предел нижний 1—172
 - Интегрирование графическое 1—183, 211, 516
 - дифференциальных биномов 1—161
 - иррациональных функций 1—160
 - определенного интеграла по параметру 1—174
 - по частям определенного интеграла 1—173
 - рациональных функций 1—156
 - трансцендентных функций 1—161
 - численное 1—212, 304
- Интенсивность деформации** 3—13
- звука — Восприятие 2—256
 - звука спектральная 2—153
 - напряжений 3—9, 18
 - электроискровой обработки металла 5—652
- Интерполирование** 1—303
- квадратическое — Поправки 1—36
 - Интерполяционные поправки — Вычисление 1—32
 - Интерполяционные формулы 1—304
 - Интерполяция линейная — Пропорциональные части 1—35
 - Интерференционные методы измерений 4—21
 - Интерференция света 2—226
 - Интерферометры 4—21, 28
 - Ионизация — Потенциалы 2—273, 277
 - Ионные приборы 2—365 — см. также *Выпрямители*; *Газотроны*; *Игнитроны*; *Тиратроны*
 - Ионы — Радиусы 2—273, 276
 - Иррациональные функции — Интегрирование 1—160
 - Иррациональные числа 1—63
 - Искусственный холод 2—97

Испарители 2 — 202**Испытания антифрикционных материалов 6 — 30**

- листового металла на вытяжку 6 — 42
- листового металла на двойной кровельный замок 6 — 44
- на изгиб 6 — 8, 10, 19
- на изнашивание деталей в машинах 6 — 28, 31
- на коррозию 6 — 85
- на кручение 6 — 10
- на наивание проволоки 6 — 44
- на ползучесть 6 — 24
- на прокаливаемость 6 — 37
- на прочность длительную 6 — 24
- на растяжение ударное 6 — 19
- на растяжения кратковременные при повышенной температуре 6 — 23
- на свариваемость 6 — 39
- на сжатие 6 — 8
- на срез 6 — 12
- на трение и изнашивание 6 — 25
- на трение при скольжении 6 — 26, 27
- на удар 6 — 19, 20
- на ударную вязкость 6 — 20
- на усталость 6 — 21
- обрабатываемости стали 6 — 35
- при повышенных температурах 6 — 23
- проволоки на скручивание 6 — 44
- радиотехнические 6 — 67
- сварных швов 6 — 41
- технологических свойств металлов 6 — 43

Испытательные машины для антифрикционных материалов 6 — 31

- на изнашивание 6 — 29
- на кручение 6 — 11
- на ползучесть 6 — 25
- на растяжение 6 — 1
- на трение 6 — 28, 30
- на усталость 6 — 22

Истечение газа 2 — 90, 521

- жидкости 2 — 90, 467, 478, 482
- пара 2 — 91

Истирание деталей механизмов 1 — 438**Источники питания сварочной дуги 5 — 180**

- потока 2 — 508, 512
- света — Яркость 2 — 225
- тока химические 2 — 356
- точечные 1 — 234

Исходный контур 4 — 293; — Смещение — Ограничение по модулю 4 — 403

- зубчатого колеса — Наименьшее смещение 4 — 305

Исчисление дифференциальное 1 — 134—153

- разностное 1 — 301 — 304
- тензорное 1 — 234

Итераций метод 1 — 127**К****Кабели контрольные — Конструктивные данные 2 — 347**

- с винилитовой изоляцией — Характеристика 2 — 344
- с резиновой изоляцией — Допускаемые нагрузки 2 — 351; — Конструктивные данные 2 — 346; — Характеристика 2 — 344
- силовые — Конструктивные данные 2 — 346

Кавитация 2 — 464**Кадмирование — Продолжительность осаждения металла 5 — 726**

- Режимы 5 — 714, 722

Калибраторы для тарировки тензометров 3 — 498**Калибрование 5 — 133—135 — Точность 5 — 569; — Удельные давления 5 — 165**

- отверстий 5 — 568; — Расчет технологический 5 — 570
- спеченных металлокерамических изделий 5 — 263
- криволинейных поверхностей 5 — 135

Калибровочные штампы 5 — 135, 136**Калибры 4 — 33; — Размеры исполнительные — Подсчет 4 — 107; — Типы 4 — 107**

- гладкие — Проверка 4 — 45
- для валов 4 — 109
- для изделий от 0,1 до 1 мм — Допуски 4 — 106
- для изделий от 1 до 500 мм — Допуски 4 — 105
- для изделий свыше 500 до 5000 мм — Допуски 4 — 106
- для контроля размеров деталей из древесины 5 — 621
- для конусов 4 — 123
- для отверстий 4 — 107
- контрольные для валов 4 — 111
- предельные рабочие из дельта-древесины 5 — 624
- предельные рабочие из фанеры 5 — 626
- предельные рабочие металлические 5 — 622
- резьбовые — Проверка — Схема 4 — 47

- Калибры-втулки для инструментальных конусов 4 — 123
 Калибры-пробки для инструментальных конусов 4 — 123
 Калугина резцы 5 — 300
 Кальцинированная сода 2 — 200
 Каменный уголь — см. *Угли*
 Камеры киносъемочные 2 — 247, 249
 — штативные 2 — 245, 248
 Канавки барабанов для стальных канатов — Размеры 4 — 776
 — в шевронных колесах — Ширина 4 — 354
 — канатных блоков — Размеры 4 — 775
 — клиноремненных шкивов — Профили 4 — 484
 — подшипников скольжения 4 — 272, 274; — Профили — Размеры 4 — 275
 — резинового вкладыша подшипников скольжения — Профили 4 — 282
 — смазочные 4 — 282, 717, 719
 — шкивов передач — Профили — Размеры 4 — 485
 Каналы — Гидравлический расчет 2 — 476
 — Коэффициент шероховатости 2 — 477
 — Сила действия потока на стенки — Определение 2 — 500
 Канаты — Отклонения от винтовой линии канавки 4 — 775, 776
 — приводные пеньковые — Характеристики технические 4 — 772, 773
 — приводные хлопчатобумажные — Характеристики технические 4 — 773
 — проволочные стальные — Конструкция и размеры 4 — 770; — Коэффициент запаса прочности 4 — 774
 Канонические уравнения поверхностей второго порядка 1 — 255
 — прямой 1 — 253
 Капиллярность 2 — 453
 Карандаши алмазно-металлические — Характеристика 5 — 411
 Карно — Остроградского теорема 1 — 403
 Карно цикл 2 — 51
 Картон асбестовый 6 — 369
 Касательные 1 — 259; — Длина 1 — 260; Коэффициент угловой 1 — 260
 — к пространственной кривой 1 — 283
 — плоскости к поверхности 1 — 294; — Уравнения 1 — 295
 Кассини овал 1 — 265
 Катионирование H-Na последовательное 2 — 201
 Катионит-N — Регенерация 2 — 201
 Катионитовые материалы — Характеристика 2 — 200, 202
 Каустическая сода — Состав 2 — 200
 Каучук — Коэффициент Пуассона 3 — 22
 — Модуль продольной упругости 3 — 22
 Качение окружности по окружности 1 — 272
 — плоскости по плоскости 1 — 271
 — прямой по окружности 1 — 272
 Квадранты оптические 2 — 252
 Квадрат разности 1 — 74
 — скалярный вектора 1 — 228
 — суммы 1 — 74
 Квадратическая погрешность средняя 1 — 305
 Квадратическое интерполирование — Поправки 1 — 36
 Квадратическое отклонение среднее 1 — 305
 Квадратные меры — Перевод одних в другие 1 — 542
 Квадратные уравнения 1 — 119
 Квадратные функции 1 — 88
 Квадраты — Напряжения касательные при изгибе 3 — 88
 — наименьшие — Способ 1 — 330, 332
 — чисел 1 — 12
 Квазигармонические колебания 3 — 346
 Квалитеты 4 — 79
 Кварцевые объективы 2 — 244
 Кварцевые пески 5 — 1
 КГМ — Выражение в ккал 2 — 330
 Кельнера окуляры 2 — 245
 Кенотроны 2 — 360
 Кеплера телескопическая система 2 — 240
 Керамические материалы 6 — 376
 Керосин — Характеристика 5 — 198
 Киловатт — Выражение в лошадиных силах 2 — 330
 Килограммы — Перевод в английские фунты 1 — 542
 Кинасошвили метод расчета дисков 3 — 262, 302
 Кинематика 1 — 369
 — вращательного движения — Формулы 1 — 376
 — колебательного движения 3 — 333
 — кулачковых механизмов 1 — 515, 518
 — плоских механизмов 1 — 413, 456, 458
 — прямолинейного движения точки — Формулы 1 — 370
 — твердых тел 1 — 375

- Кинематические пары** — Классификация
 1—407; — Структура 1—407
 — геометрически замкнутые 1—409
 — кулачкового типа 1—514
 — плоских механизмов — Давление — Определение 1—421
 — с промежуточными деформируемыми телами 1—412
 — с промежуточными телами качения 1—412
- Кинематические схемы механизмов** 1—413
- Кинематический момент** 1—389, 397
- Кинетическая энергия** — см. *Энергия кинетическая*
- Кинестатика плоских механизмов** 1—418, 456
 — точки 1—387
- Киноъемочные камеры** 2—247, 249
- Кирпичева и Гухмана теорема** 2—115
- Кирпичи кислотоупорные** 6—381
- Кирхгофа законы** 2—338
- Кислород** 5—197; — Определение в стали 6—54, 55; — Растворимость в металлах 2—323; — Тепловые свойства 2—19
 — в сталеварении 5—54
- Кислородно-ацетиленовые горелки** 5—209
- Кислородное дутье в вагранках** 5—43
- Кислотные аккумуляторы** — см. *Аккумуляторы свинцовые*
- Ккал** — Выражение в *квт·ч* 2—330
- Клапаны** — Коэффициент сопротивления 2—492
 — Сопротивление 2—491
 — Штамповка на кривошипных пресах — Схема 5—121
- Клапаны предохранительные** 4—713, 715
- Клапейрона уравнение** 2—45
- Клапейрона—Клаузиуса уравнение** 2—62
- Клей** 6—355
 — для наклейки тензометров 3—495
 — пектиновые 5—9
- Клеймение деталей машин** — Влияние на выносливость 3—465
- Клепанные конструкции** — Сборка 5—245
- Клепанные соединения** 4—668
- Клепка пластмасс** 5—605
- Кли** — стальных конструкций 5—251
- Клеро уравнение** 1—209
- Клин мерный** 3—380
- Клиновые соединения** 4—610—612
 — Конструкция 4—610
 — Отверстия под клин — Форма 4—610, 611
 — Расчет на прочность 4—612
 — Самоторможение 4—610
 — Сила 4—610
- Клиновые шпонки** 4—574, 577—579
- Клиновые элементы зажимные** — Расчет 5—484
- Клиноременные передачи** 4—476, 484
 — Геометрия 4—480
 — Долговечность 4—481
 — Параметры — Выбор 4—478
 — Порядок расчета 4—481
 — Пример расчета 4—486
 — Расчет 4—480
- Клинья ахроматические** 2—230
 — регулировочные направляющих 1—410
 — сферические 1—111
- Ключи торцевые** 5—755
- Коагуляция воды** 2—197
- Ковка** — Влияние на механические качества 5—89
 — Влияние на микроструктуру 5—89, 90
 — Температурные интервалы 5—100
 — Термический режим 5—99
 — Технология 5—89—179
- Ковка свободная** 5—89, 103; — Технология 5—109
 — цветных сплавов 5—136
- Ковочные вальцы** 5—131
- Ковочные машины вертикальные** 5—129, 130
- Ковочные молоты** — см. *Молоты ковочные*
- Ковочные прессы** — см. *Прессы ковочные*
- Ковкий чугун** — см. *Чугун ковкий*
- Ковшевая металлургия** 5—49
- Кожа техническая** 6—361, 362
- Кожухи защитные у шифовальных кругов** — Расположение 5—414
- Кокиль** 5—60
- Кокс** — Характеристика 2—181
- Колебания** — Возбудители 3—384
 — Возбуждение электромагнитное 3—385
 — Гашение 3—350
 — Демпфирование 3—350
 — Измерение — Оптические методы 3—379
 — Исследование на моделях 3—386
 — Исследование экспериментальное 3—378
 — Моделирование 3—388
 — Силы возбуждения 3—347
 — Устранение 3—351
 — Частота — Измерение 3—378
- Колебания балок двухопорных с равномерно распределенной массой** — Формы 3—371
 — валов с сосредоточенными массами крутильные 3—360
 — валов собственные — Частота — Изменение 3—372

- вращающихся валов крутильные—
Измерение 3—381
- вращающихся дисков — собствен-
ные — Частота 3—377
- вынужденные 3—335; — Возбу-
ждение 3—347; — Сдвиг фаз 3—
337
- гармонические 3—333
- затухающие 3—335
- заземленной консоли собствен-
ные — Частота 3—367
- квазигармонические 3—346
- колец изгибные — Частота 3—
378
- крутильные валов 3—335, 360,
381; — Резонансные кривые экспе-
риментальные 3—383
- маятника — Уравнения дифферен-
циальные 1—397
- маятника собственные — Частота
3—339
- мембран собственные — Частота
3—375
- оболочек собственные — Частота
3—376
- пластинок — Частота 3—375
- поперечные — Частота высшая —
Определение 3—372
- продольные и поперечные 3—
335
- простых систем собственные — Ча-
стота 3—361
- псевдогармонические 3—345
- разветвленных систем собствен-
ные — Расчет частот по методу
остатка 3—364
- свободные 3—334
- систем нелинейных 3—345
- систем с одной степенью свободы
при различных видах сопротивле-
ния — Расчетные формулы 3—
351
- систем с переменными параметра-
ми 3—345
- систем с сосредоточенными мас-
сами — Расчет — Метод сил 3—
341
- систем со многими степенями сво-
боды — Формы 3—340
- системы вал — винт собственные —
Частота 3—363
- собственные — Частота 3—334,
339, 360, 361, 366, 367, 372, 375,
376, 377
- стержней поперечные 3—366; —
Частота — Определение 3—367
- стержней постоянного сечения с
распределенной массой 3—365
- стержней собственные крутиль-
ные — Частота 3—366
- упругих систем с одной степенью
свободы 3—334
- элементов машиностроительных
конструкций 3—333—389
- Колебательные контуры 2—341**
- Колена вала — Податливость 3—357**
- трубопроводов 2—488, 489
- Колеса винтовые 1—496**
- гипoidные 1—496
- «зерол» 4—365
- зубчатые цилиндрические — см.
Зубчатые колеса цилиндрические
- маховые — Момент инерции —
Определение 1—428
- прямозубые 5—387
- «формейт» 4—365
- Колеса ходовые 4—801**
- Буксы 4—807
- Коэффициент снижения допускае-
мых напряжений 4—804, 805
- Нагрузки 4—804, 805
- Установка 4—804
- Колеса ходовые крановые — Ободья —**
Расчет 4—805; — Размеры 4—801,
802, 803
- червячные — см. *Червячные колеса*
- Колесова резы 5—300**
- Количество движения 1—386, 388, 402**
- Коллекторные двигатели с серийным
возбуждением 2—409**
- Коллекторы 2—382**
- Коллинеарные векторы 1—226**
- Колпачки дренажные 2—196**
- Кольца — Колебания изгибные — Ча-
стота 3—378**
- Расчет 3—163
- Статический момент 3—276
- Части — Напряжения касательные
при изгибе 3—88
- Кольца для измерения валов 4—109**
- круглые — Сечения — Геометри-
ческие характеристики 3—48
- круговые — Устойчивость 3—324
- круговые незамкнутые 3—29
- насадочные Рашига 6—381
- подшипников качения — Посад-
ки — Зависимость от нагружения
4—232; — Сопряжения с валом
и корпусом 4—232
- поршневые — Контроль автома-
тической плотности прилегания по
окружности — Аппаратура 4—
41; — Радиальная толщина —
Пример расчета 3—446; — Хроми-
рование пористое 5—725
- поршневые уплотнительные 4—
728
- произвольной формы — Напряже-
ния и угол закручивания при кру-
чении 3—31

- прокладочные асбестовые 6 — 368
- пустотелые — Штамповка 5 — 155
- смазочные свободно сидящие — Размеры 4 — 701
- стальные — Пример определения критических нагрузок 3 — 325
- тонкие — Геометрические характеристики 3 — 42
- тонкие вращающиеся — Пример расчета 3 — 230
- тонкостенные — Напряжения касательные при изгибе 3 — 88
- тонкостенные правильные — Напряжения и угол закручивания при кручении 3 — 31
- уплотнительные 4 — 724, 726, 728; — Крепление 4 — 740, 742; — Размеры 4 — 726
- центровочные — Контроль наружного диаметра — Аппаратура 4 — 40
- эллиптические — Напряжения и угол закручивания при кручении 3 — 30; — Расчет 3 — 164
- Кольцевой сектор** — Площадь 1 — 107
- Кольцо** — Момент инерции 2 — 458; — Центр тяжести 2 — 458
- круговое — Площадь 1 — 106
- Командоаппараты** 2 — 436
- Коммутация** 2 — 382
- Компараторы** 2 — 251; 3 — 522
- Компаундные машины** 2 — 383; — см. также *Машины постоянного тока*
- Компенсаторы** 2 — 378; 3 — 522; 4 — 61, 73
- Компенсационные обмотки** 2 — 382
- Компенсационные окуляры** 2 — 244
- Компланарные векторы** 1 — 227
- Комплексные переменные** — Интегралы 1 — 196
- Функции 1 — 194—205
- Комплексные ряды** 1 — 194, 195
- Комплексные числа** 1 — 84; — Действия 1 — 62
- бесконечно малые 1 — 194
- Комплект фрез сборный** 5 — 342
- Компоненты деформации** 3 — 11
- напряжений 3 — 5; — Правило знаков 3 — 6
- Компрессионные холодильные машины** — см. *Холодильные машины*
- Компрессоры** 2 — 57, 58 — Пример расчета на жесткость 3 — 217
- Конакова формула** 2 — 471
- Конвективная теплоотдача** 2 — 114
- Конвективный теплообмен** 2 — 114, 138, 139
- Конвекция тепловая** 2 — 114
- Конвертеры малобессемеровские** — Характеристика 5 — 54
- Конволютные винтовые поверхности** 1 — 299
- Конденсаторные двигатели однофазные** 2 — 404
- Конденсаторы** 2 — 331
- Конденсоры темного поля** 2 — 252
- Кондукторы сборочные** 5 — 245
- Конечные приращения** — Формулы 1 — 141, 145
- Конечные разности простейших функций** 1 — 301
- Конечные ряды числовые** 1 — 80, 82
- Конические зубчатые колеса** — см. *Зубчатые колеса конические*
- Конические зубчатые передачи** — см. *Зубчатые передачи конические*
- Конические поверхности** 1 — 298
- Конические сечения** 1 — 249
- Коноиды** 1 — 294
- Консоли** — Прогобы при возникновении пластических деформаций 3 — 275; — Расчет 3 — 80; — Частота собственных колебаний — Пример определения — Расчетная формула 3 — 369
- закрученные — Частота колебаний 3 — 354
- заземленные — Частота собственных колебаний 3 — 367
- ломаные — Эпюры моментов, поперечных и продольных сил — Построение 3 — 150
- Константан** — Расчетные данные 6 — 287
- Константы равновесия в газовой фазе** 2 — 310
- Конструирование балок сварных** 4 — 670
- моделей 5 — 23
- сварных деталей и узлов машин 5 — 221
- сварных ферм 4 — 684
- Конструктивная база** 4 — 38
- Конструкции** — см. также по их названиям, например *Котельные конструкции; Резервуарные конструкции; Решетчатые конструкции; Сварные конструкции; Стальные конструкции; Строительные конструкции* и т. д.
- Движущиеся элементы — Расчет 3 — 229—270
- Расчет на устойчивость 3 — 320
- Контакт двух деталей** — Распределение давлений 3 — 419
- изношенных пар 1 — 441
- цилиндров — Напряжения 3 — 419, 420
- Контактная пайка электрическая** 5 — 213
- Контактные напряжения** 3 — 418

- Контакты** металлокерамические 6 — 322
 — электромагнитные 6 — 74
Контроллеры 2 — 434
Контроль вкладышей подшипниковых
 технический 5 — 515
 — деталей в процессе обработки 4 — 42
 — дробеструйной обработки 5 — 587
 — зубчатых конических колес техни-
 ческий 5 — 534
 — зубчатых цилиндрических колес
 технический 5 — 529
 — зубчатых червячных колес техниче-
 ский 5 — 532
 — качества лакокрасочных поверхно-
 стей 5 — 743
 — качества сборки 5 — 756, 757
 — корпусных деталей технический
 5 — 551
 — маховиков технический 5 — 518
 — пластмассовых деталей машин 5 — 606
 — плоскости и прямолинейно-
 сти — Схема 4 — 49
 — подшипниковых втулок технический
 5 — 506
 — при производстве валов техниче-
 ский 5 — 502
 — рычагов технический 5 — 542
 — червяков технический 5 — 532
 — чистоты поверхности — Схема 4 — 50
 — шкивов технический 5 — 517
 — элементов цилиндрических зубчатых колес 4 — 300
Контрольные автоматы 4 — 40
Контрольные приспособления 4 — 38, 39
Контуры исходные — Коэффициент сме-
 щения 4 — 294
 — колебательные 2 — 341
Конусность — Пример записей на поле
 чертежа 4 — 813
 — и биение впадины шлицев относи-
 тельно опорных шеек вала — Про-
 верка — Схема 5 — 503
 — изделий — Определение 4 — 36
 — инструментов — Величины 4 — 115
 — конусов Морзе 4 — 116
Конусы — Измерение — Схема 4 — 46; —
 Методы контроля 4 — 118; — Обтека-
 ние 2 — 528; — Посадки 4 — 115; —
 Уравнения 1 — 256, 298
 — инструментальные 4 — 117
 — круглые 1 — 109
 — Морзе — Конусность 4 — 116
 — трения 1 — 357, 434
 — усеченные 1 — 110, 111
Конформные отображения 1 — 201; 2 — 510
- Конфузоры** 2 — 487
Конхоиды 1 — 273—276
Концевые меры 4 — 7
Концентрация напряжений 3 — 403; —
 Определение экспериментальное 3 — 490
 — в условиях пластичности 3 — 283
Концентричность шеек вала — Про-
 верка — Аппаратура 5 — 503
Координаты — Начало — Перенос 1 — 250; — Оси — Поворот 1 — 250; —
 Преобразование 1 — 239
 — вектора 1 — 228
 — косоугольные 1 — 238
 — обобщенные 1 — 368
 — полярные 1 — 239
 — прямоугольные (декартовы) 1 — 238, 249; — Преобразование 1 — 250
 — точки пересечения прямых 1 — 242
 — центра тяжести — Вычисление интегрированием 1 — 191
Копиральные устройства 1 — 470
 — для молотковых штампов 1 — 119
 — для опок 1 — 18
 — маятниковые 1 — 406
 — сборочные 5 — 244, 245
Копры Давиденкова 6 — 19
 — маятниковые 6 — 20
Копыта цилиндрические 1 — 109
Корни квадратные — Извлечение на
 арифмометре 1 — 341; — Извлечение на
 логарифмической линейке 1 — 337
 — квадратные чисел 1 — 12; — Извле-
 чение сокращенное 1 — 69
 — кубические — Извлечение на логарифмической линейке 1 — 337
 — кубические чисел 1 — 12
 — трансцендентных уравнений дей-
 ствительные 1 — 122
 — чисел — Отделение 1 — 123; —
 Формулы 1 — 75
Корни характеристического уравнения
 $\epsilon_n J_i(\epsilon_n) = B^i J_0(\epsilon_n)$ 2 — 133
 — $\text{ctg } \epsilon_n = \frac{t_n}{B^i}$ 2 — 130
 — $\text{tg } \epsilon_n = \frac{\epsilon_n}{B^i - 1}$ 2 — 137
Коробки — Типы 5 — 543
Коробки передач 1 — 499—501
 — планетарные 1 — 510
Короткое замыкание цепи с индуктивностью и сопротивлением 2 — 334
Корпусы — Типы 5 — 543
Корпусы и коробки — Конструкция —
 Влияние на технологию обработки 5 — 549
 — Контроль технический 5 — 551
 — Обработка — Оборудование 5 — 544;

- — Технология 5 — 544
- Производство — Технические условия 5 — 543
- Корпусы приспособлений для механической обработки деталей машин 5 — 491
- трубопроводной арматуры — Материалы 4 — 735
- Коррекция зацепления зубчатых колес 4 — 328
- зубчатых колес 4 — 322
- Корригирование эвольвентных зубьев 1 — 494
- Коррозия — Влияние на предел выносливости деталей 3 — 465—467; — Испытание 6 — 85
- металлов 6 — 85—88, 91
- чугуна и стали в разных средах 6 — 206, 207
- Корсетность изделий — Определение 4 — 35
- Корунд 6 — 377
- Косинус интегральный 1 — 164
- cos φ — Определение 2 — 380
- Косинусы — Логарифмы 1 — 48, 49
- Косоугольные колеса — см. *Зубчатые колеса конические косоугольные*
- Косоугольные координаты 1 — 238
- Косоугольные треугольники 1 — 113
- Котангенсы — Логарифмы 1 — 50, 51
- Таблицы 1 — 46, 47
- Котельные агрегаты — Теплообмен излучением в газоходах — Расчет 2 — 163
- Котельные конструкции — Сборка 5 — 246
- Коуши 4 — 777, 778
- Коши признак сходимости рядов 1 — 149, 150
- признак сходимости и расходимости несобственных интегралов 1 — 176
- теорема 1 — 197, 210
- формула 1 — 141
- Коши—Адамара формула 1 — 195
- Коэффициенты 6 — 65
- Крановые рельсы 4 — 807
- Крановые сооружения 4 — 659
- Краски масляные 6 — 391
- формовочные 5 — 17
- эмалевые 6 — 387, 388, 389, 390
- Красностойкость инструментальных материалов 5 — 279
- Кратные интегралы 1 — 184
- Крекеры 5 — 217, 218
- Крепёжные детали трубопроводной арматуры 4 — 737
- Крепёжные изделия — Высадка 5 — 163
- Крепители 5 — 4
- Крепление оптических деталей 2 — 238
- пружин 4 — 628, 629, 634, 636
- рессор 4 — 655
- уплотнительных колец 4 — 740, 742
- Кривая, огибающая круги напряжений 3 — 436, 438
- ползучести 3 — 289
- релаксации 3 — 292
- усилий предельная при комбинированном нагружении 3 — 453
- Кривизна изогнутой оси бруса из-за ползучести материала 3 — 295
- линии 1 — 266
- поверхности 1 — 295
- пространственной кривой 1 — 284
- Криволинейные интегралы 1 — 186
- Криволинейные шкалы 1 — 315
- Кривоугольная формула 5 — 274
- Кривые 1 — 258 — см. также по их названиям, например *Дискриминантная кривая; Кусочнолинейные кривые; Нечетные кривые; Пространственные кривые; Центральные кривые; Циклоидальные кривые*
- Вершины 1 — 268
- Выпуклость 1 — 264
- Вычерчивание 1 — 265
- Исследование 1 — 265
- Натуральное уравнение 1 — 268
- Построение 1 — 262
- Развертка 1 — 269
- Соприкосновение 1 — 266
- Точки особые 1 — 262, 263
- Траектории 1 — 271
- Эволюта 1 — 269
- Кривые веревочные 1 — 366
- второго порядка 1 — 242, 247
- деформирования и в условиях разрушения 3 — 438
- длительной прочности 3 — 432
- нагревания и охлаждения 6 — 56
- намагничивания 2 — 334
- опасных перегрузок 3 — 472
- плоские 1 — 258
- податливости 3 — 356
- резонансные 3 — 336, 345, 346, 383
- релаксации для стали 3 — 486
- скольжения для ременных передач 4 — 462
- упругие периодические 3 — 128, 129, 135
- усталости 3 — 472; 6 — 21
- усталости материалов 3 — 430
- частоты статические суммарные 3 — 472
- Кристаллические решетки ионные — Энергия 2 — 294
- чистых металлов 2 — 319
- Кристаллографическая система элементов и их соединений 2 — 282
- Кристоффеля — Шварца функция 1 — 205

- Критерий Био 2 — 130
 — Сильвестра 1 — 369
 — Фурье 2 — 130
 — вязкостно-инерционный (Рейнольдса) 2 — 140
 — геометрического подобия 2 — 140
 — конвективного теплообмена (Пекле) 2 — 140
 — необходимости расчета валов 4 — 134
 — подобия 2 — 114
 — подъемной силы (Грасгофа) 2 — 140
 — теплоотдачи (Нуссельта) 2 — 140
 — физических свойств (Прандтля) 2 — 140
 Критическая сила сжимающая 3 — 184
 Критическая степень деформации сплавов 5 — 136
 Критическая точка 2 — 38
 Критические нагрузки для сжатых монолитных стержней 3 — 309
 Критические силы в расчетах на устойчивость 3 — 309, 319
 Критическое состояние 2 — 37
 Кромки — Подготовка под сварку газовую 5 — 201; — Подготовка под сварку электродугую 5 — 225
 — листовых деталей стальных конструкций — Обработка 5 — 239
 — режущие 5 — 268, 304, 372
 Кромкострогальные станки 5 — 239
 Крон 6 — 391
 Круг 2 — 458
 — Мора 3 — 9
 Круги 1 — 12, 37, 106; 3 — 88, 102, 276
 — для моментов инерции 3 — 39
 — неполные — Геометрические характеристики 3 — 42
 Круговое кольцо — Площадь 1 — 106
 Круговой сегмент — Площадь 1 — 107
 Круговой сектор — Площадь 1 — 107
 Круговые функции 1 — 91
 — Таблицы 1 — 52
 Кружиллина формула 2 — 145, 149
 Крутизна характеристики триода 2 — 362
 Крутящий момент, действующий на шпиндель — Расчет 4 — 743
 — на червячном колесе допускаемый 4 — 412
 Кручение 3 — 27, 29, 33; — Диаграммы 6 — 11; — Испытания 6 — 10
 — балок 4 — 683
 — брусев 3 — 295, 297
 — гибких проволочных валов 4 — 178
 — пространственной кривой 1 — 284
 Крылова гипертригонометрические функции 3 — 343
 Крыльчатка — Исследования 3 — 531, 532
 Крышки трубопроводной арматуры — Материалы 4 — 735
 Крюки — Подвески 4 — 783
 — грузовые 2 — 778
 — для механизмов с машинным приводом — Размеры 4 — 780
 — для механизмов с ручным приводом — Размеры 4 — 779
 — кованые — Размеры 4 — 781
 — пластинчатые для кранов большой грузоподъемности — Размеры 4 — 782
 Куб разности 1 — 74
 — суммы 1 — 74
 Кубические меры — Перевод одних в другие 1 — 542
 Кубические уравнения 1 — 119
 Кубы 1 — 108
 — чисел 1 — 12
 Кузнечная обработка — Технология 5 — 103
 Кузнечно-штамповочные работы 5 — 103
 — на машинах узкого применения 5 — 128
 Кулачки муфт 4 — 196, 197
 Кулона закон 1 — 357; 2 — 330
 Куниаль 6 — 263, 266
 Кусочногладкие кривые 1 — 138
 Кутателадзе формула 2 — 149

Л

- Лабиринты радиальные 4 — 732
 Лавая сопло 2 — 91, 521
 Лагранжа метод изучения движения жидкости 2 — 503
 — уравнение 1 — 209, 391
 — формула 1 — 141, 304
 Лагранжа — Дирихле теорема 1 — 368
 Лакирование 5 — 740
 Лакокрасочные материалы 5 — 743; 6 — 384
 Лакокрасочные покрытия 5 — 743
 Ламберта закон 2 — 156
 Ламинарное течение 2 — 467
 Лампы накалывания 2 — 225
 — электронные 2 — 360 — см. также *Диоды; Кенотроны; Пентоды; Тетроды; Триоды*
 Лапласа оператор 1 — 234
 — уравнение 1 — 196, 225, 234
 — функция — График 1 — 324
 Лапласовы преобразования — Таблица 1 — 219
 Латинский алфавит 1 — 5
 Латунирование 5 — 715, 723, 726
 Латунные полуфабрикаты 6 — 256

- Латунь 3 — 22; 4 — 276; 5 — 56, 203;
6 — 49, 248, 251
- Левина профилографы 2 — 251, 252
- Легирование чугуна 5 — 49
- Лежандра функция 1 — 223
- Лейбница признак сходимости рядов
1 — 150
- Лекланше элемент 2 — 356
- Лемма Жордана 1 — 201
- Лемникаты 1 — 263
- Ленточка на сверлах — Подточка 5 —
324
- Ленты асбестовые 6 — 365, 366
— из никелевых сплавов 6 — 280
— из термоэлектродных сплавов 6 —
285
— пружинные холоднокатанные 6 —
147
— стальные 6 — 139, 192
— тормозные 4 — 794
- Ленца закон 2 — 333
- Ленца — Джоуля закон 2 — 338
- Лермантова объеммер 2 — 14
- Лигатура 5 — 56
- Лигностон 6 — 337
- Линейки измерительные — Характери-
стика 4 — 9
— логарифмические 1 — 336
— поверочные — Типы 4 — 31, 32
— синусные 4 — 118, 120, 122
- Линейная интерполяция 1 — 35
- Линейные меры 1 — 540
- Линейные системы 1 — 115
- Линейные уравнения 1 — 117, 128
— дифференциальные 1 — 215, 217
- Линейные функции 1 — 87
- Линзы 2 — 233, 239
- Линейчатые поверхности 1 — 298
- Линии вихревые 1 — 286, 289
— влияния 3 — 80, 145
— геодезические 1 — 296
— кривые плоские 1 — 258
— однорядные 1 — 359
— равных главных напряжений 3 — 20
— чертежей 4 — 811, 812, 814, 815
- Линия вихревая 4 — 3
— нулевая 2 — 504
- Линника микроинтерферометры 2 — 251
— микроскопы двойные 2 — 251
- Липкина инверсоры 1 — 466
- Липшица условие 1 — 210
- Лиссажу фигура 3 — 379
- Листопрямые вальцы 5 — 234
- Листоштамповочные детали 5 — 148
- Листоштамповочные работы 5 — 138
- Листы — Гибка на вальцах — Схема
5 — 242; — Раскрой на полосы 5 —
150
— алюминиевые 6 — 297
— асбостальные 6 — 370
- пластмассовые — Резание 5 — 615
- Литейное производство — Технология
5 — 1—88
- Литейные алюминиевые сплавы — см.
Сплавы алюминиевые литейные
- Литейные магниевые сплавы — см.
Сплавы магниевые литейные
- Литейные медные сплавы — см. *Сплавы
медные*
- Литейные модели — Классификация 5 —
19
- Литейные опоки — Размеры стандарт-
ные 5 — 18
- Литейные уклоны 5 — 22
- Литейные формы — Сборка 5 — 30
— металлические 5 — 60
— скорлупчатые 5 — 29
- Литниковые системы 5 — 33
- Литье — Выбивка 5 — 37, 38
— в металлических формах 5 — 60
— пластмассовых изделий без давле-
ния 5 — 598
— по выплавляемым моделям 5 — 71
— под давлением 5 — 64
— прецизионное 5 — 71
— художественное 6 — 223
— цветное 5 — 15, 16, 56
— центробежное 5 — 66, 68
- Лихтенберга сплавы для тонкого литья
6 — 275
- Лобачевского метод приближенного ре-
шения алгебраических уравнений 1 —
129
- Логарифм интегральный 1 — 164
- Логарифмирование 1 — 78
- Логарифмические линейки 1 — 336
- Логарифмические номограммы 1 — 317
- Логарифмические уравнения 1 — 122
- Логарифмические функции 1 — 91
- Логарифмические шкалы 1 — 314
- Логарифмический шаблон 1 — 314
- Логарифмы 1 — 75
- Логарифмы десятичные 1 — 77
— постоянных величин — Таблицы
1 — 6
— тригонометрических функций 1 —
48
— факториалов — Таблицы 1 — 41
— чисел 1 — 12
- Логарифмы косинусов 1 — 48, 49
— котангенсов 1 — 50, 51
— натуральные 1 — 77
— натуральные чисел — Таблицы 1 —
42
— синусов 1 — 48, 49
— тангенсов 1 — 50, 51
— факториалов — Таблицы 1 — 41
- Лопастные насосы 4 — 704
- Лопатки турбинные 3 — 341, 349, 369
- Лорана ряд 1 — 198

- Лоренца тензометр 3 — 490
 Лошадиные силы 2 — 330
 Лубрикаторы — Соединение с резервуаром — Схема 4 — 706, 707
 — многоточечные 4 — 706—711
 — однотоочечные 4 — 699, 706, 707
 Лужение 5 — 722, 726
 Лупы 2 — 253
 Лучевые номограммы 1 — 316
 Лучи 1 — 242
 — апертурные 2 — 234
 — винтов 1 — 287
 — полевые 2 — 234
 Лучистый поток 2 — 153
 Лямэ формула 3 — 219
 Ляпунова теорема 1 — 329, 368
- ## М
- Магазины сопротивлений — Схема 2 — 375
 Магнетизм 2 — 331
 Магниеые сплавы — см. *Сплавы магниевые*
 Магний 6 — 49, 312, 313
 Магнитная восприимчивость чистых металлов 2 — 318
 Магнитная проницаемость 2 — 332
 Магнитная сталь сортовая 2 — 336
 Магнитное поле 2 — 331, 332, 334
 Магнитные анизотропы 6 — 63
 Магнитные пускатели 2 — 436
 Магнитные сплавы — см. *Сплавы для постоянных магнитов*
 Магнитные цепи 2 — 337
 Магнитный поток 2 — 332
 Магнитоэлектрические осциллографы 2 — 375, 376
 Магниты металлокерамические 6 — 322
 — постоянные 2 — 336; 6 — 169
 Маклорена формула 1 — 142
 Максвелла — Кретоны диаграмма — Построение 3 — 144
 Максвелла — Мора формула 3 — 151
 Малинина метод 3 — 256
 Манганин 6 — 286
 Манжетные уплотнения 4 — 731, 733
 Манжеты 4 — 724, 725, 727
 Манипуляторы 5 — 108
 Манометры 2 — 10—12, 456; 3 — 217
 Мантисса логарифма 1 — 77
 Марки углей 2 — 177
 Маркировка абразивного инструмента — 5 — 399
 — деталей машин 3 — 465
 — моделей 5 — 21
 — формовочных глин 5 — 3
 Маркова теорема 1 — 329
 Мартеновские печи — Размеры 5 — 54
 Маршруты технологические обработки валов 5 — 496—499
 — вкладышей из биметаллической ленты 5 — 514
 — зубчатых колес конических 5 — 534—536
 — зубчатых колес цилиндрических 5 — 526—529
 — зубчатых колес червячных 5 — 532
 — маховиков 5 — 519
 — подшипниковых вкладышей 5 — 507
 — подшипниковых втулок 5 — 505
 — червяков 5 — 531
 — шкивов 5 — 516, 517, 518
 Масло — Вязкость 2 — 452
 — смазочные — см. *Смазочные масла*
 Масленки 4 — 699, 705, 707, 709, 711
 Маслораспределители 4 — 715
 Маслосбрасыватели 4 — 732
 Маслоуказатели круглые 4 — 712, 713
 Масса приведенная — Пример определения 3 — 400
 — системы 3 — 374
 — тела 1 — 191
 — электрона 2 — 360
 Массы вращающиеся 1 — 421
 — маховые — Расчет 1 — 427
 — уравновешивающие 1 — 423
 Математические маятники 1 — 385
 Математические обозначения 1 — 1—61
 Математические приборы 1 — 336—348
 Математическое ожидание случайной величины 1 — 326
 Материалы — см. также по видам материалов, например *Изоляционные материалы; Проводниковые материалы; Смазочные материалы; Строительные материалы; Теплоизоляционные материалы; Электротехнические материалы*
 — Излучение полное — Степень черноты 2 — 154
 — Испытание на трение и изнашивание 6 — 25
 — Коэффициент Пуассона 3 — 22
 — Коэффициент теплопроводности 2 — 117
 — Модуль продольной упругости 3 — 22
 — Модуль сдвига 3 — 22
 — Объемный вес 2 — 117
 — Оптическая постоянная — Определение 3 — 521
 — Ползучесть — Характеристика 3 — 290
 — Прочность 3 — 429
 — Сопротивление разрушению 3 — 435
 — Сопротивление срезу в штампах 5 — 138
 — Теплоемкость 2 — 117
 Материалы антифрикционные 6 — 30, 319
 — для арматуры 4 — 735
 — для валов 4 — 132, 176; 5 — 496
 — для вытяжки или протяжки 5 — 149

- для гибких проволочных валов 4 — 176
- для деталей цепей 4 — 432
- для зубчатых колес 4 — 356; 5 — 521, 530, 533
- для контактных сварочных машин электродные 5 — 197
- для корпусов и коробок 5 — 544
- для крепежных резьбовых соединений — Характеристики 4 — 526
- для листовой штамповки 5 — 149
- для литейных металлических форм 5 — 60, 61
- для маховиков 5 — 518
- для моделей при исследовании деформаций 3 — 520, 521
- для молотковых штампов 5 — 119
- для опок 5 — 18
- для плавки чугуна 5 — 40
- для подшипниковых вкладышей 5 — 506
- для подшипниковых втулок 5 — 504
- для прессформ 5 — 598
- для прокладок арматуры 4 — 721, 722
- для пружин и рессор 4 — 613
- для рычагов 5 — 537
- для свободнойковки 5 — 108
- для уплотнительных колец арматуры 4 — 721, 722
- для фрикционных передач 4 — 438
- для футеровки вала 5 — 727
- для шкивов 5 — 516
- для шпонок 4 — 524
- для штамповки на молотах 5 — 115
- для электролитических покрытий — Расход 5 — 728
- древесные 6 — 334
- катионитовые 2 — 200, 202
- лакокрасочные — Нормы расхода 5 — 743
- металлокерамические 6 — 318—326
- металлокерамические антифрикционные 6 — 319
- наплавочные 5 — 208
- неметаллические 3 — 431; 6 — 329—394
- фасонные 6 — 43
- химически стойкие 6 — 95
- Матрицы** — Диаметры 5 — 240
- для холодной высадки 5 — 170
- квадратные 1 — 115
- штампов — Ремонт электроискровым способом 5 — 663
- штампов вырубных — Прошивание электроискровым способом 5 — 658
- Маховики** 3 — 231; 4 — 745; 5 — 518
- Маховой момент, приведенный к валу двигателя** — Определение 2 — 423
- Маховые колеса** — Момент инерции — Определение 1 — 428
- Машиностроительные конструкции** — Колебания 3 — 339—389
- Частота собственных колебаний — Расчет 3 — 339
- Машины** — см. также под их наименов., например, *Вычислительные машины; Гибочные машины*
- для заливки стальной ленты 5 — 512, 513
- для литья под давлением 5 — 65—66
- для резки — Характеристика 5 — 206
- постоянного тока 2 — 381—385
- Маятники математические** 1 — 385
- физические 1 — 397; 3 — 339
- Маятниковые копры** 1 — 406
- «Мегаз»** (электроконтактный датчик) 4 — 26
- Медиана** 1 — 327
- Меднение** 5 — 714, 722, 723, 726
- Медные литейные сплавы** — см. *Сплавы медные литейные*
- Медные полуфабрикаты** 6 — 428
- Медь** 3 — 22; 5 — 56, 203; 6 — 246, 247
- Междуатомное расстояние чистых металлов** 2 — 319
- Международная температурная шкала** 2 — 2
- Мембраны** — Колебания собственные — Частота 3 — 375
- гофрированные — Расчет на жесткость 3 — 211, 212
- плоские — Расчет на жесткость 3 — 211
- Менделеева уравнение** 2 — 45
- формула 2 — 450
- Мера градусная** — Перевод в радианную 1 — 39
- Мерный клин** 3 — 380
- Меры** — Перевод одних в другие 1 — 537
- веса 1 — 533—536; — Перевод в другие 1 — 542
- длины 1 — 533, 535, 536
- емкости 1 — 534—536
- квадратные — Перевод одних в другие 1 — 542
- концевые 4 — 7
- кубические — Перевод одних в другие 1 — 542
- ленточные для больших диаметров 4 — 113
- линейные — Перевод одних в другие 1 — 540
- массы 1 — 534—536
- объема 1 — 534—536
- поверхности 1 — 534, 535, 536
- штриховые 4 — 8

- Местные напряжения** 3—403—427
Металл наплавленный — Механические свойства 5—202
Металлизационные аппараты электро- дуговые 5—732
Металлизация 5—731, 733
 — диффузионная 5—689, 690
 — распылением 5—729, 730
Металлография магнитная 6—66
Металлокерамические изделия 6—318, 324
Металлокерамические материалы 6—318—326
Металлоконструкции — Элементы 4—659—694
 — промышленных сооружений — Напряжения допускаемые 4—659
Металлопокрытия — Толщина 5—715—717
Металлургические электродвигатели — см. *Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором*
Металлургия вепенная 5—49
 — Акустические свойства 6—81
Металлы — Анодно-механическая обработка 5—641
 — Газопламенная обработка 5—197
 — Интенсивность электроискровой обработки 5—652
 — Испытания 6—67, 85, 91
 — Коэффициент линейного расширения 2—15
 — Коэффициент минимального радиуса гибки 5—141
 — Коэффициент теплопроводности 2—120, 122
 — Коэффициент чувствительности к концентрации напряжений 3—458
 — Механические свойства 6—1—33
 — Модуль упругости 4—124
 — Наравивание электроискровое 5—663
 — Полируемость 5—639
 — Предел выносливости 3—465
 — Разрушение импульсным разрядом 5—650
 — Растворимость водорода 2—322
 — Растворимость кислорода 2—323
 — Резание 5—435 — Технология 5—268—494
 — Сопротивление срезу в штампах 5—138
 — Стойкость коррозионная 6—91
 — Стойкость химическая 6—85
 — Структура — Определение 6—68
 — Температура плавления 2—37
 — Теплоемкость 2—36, 37
 — Термическая и химико-термическая обработка — Технология 5—666—713
 — Технологические свойства 6—34
 — Угар 5—56
 — Физические свойства 6—45
 — Химико-механическая обработка 5—663—665
 — Электроискровая обработка — Износостойкость инструмента 5—655
 — Электрообработка 5—634—665
 — Электрополирование 5—634
Металлы для холодной высадки 5—161
 — листовые 6—42, 44
 — тугоплавкие 6—324
 — химически стойкие 6—95
 — чистые 2—316—327; 6—290
Метан — Пары насыщенные — Свойства 2—102
 — Тепловые свойства 2—32
Метацентр 2—459
Метод Афанасьева расчета коэффициентов концентрации 3—417
 — Бернадского для расчета рам 3—165
 — Верещагина 3—273
 — Верховского расчета коэффициентов концентрации 3—417
 — Вильо для определения перемещений ферменных конструкций 3—155
 — Давиденкова измерения деформации 3—492
 — Кинасошвили 3—262, 302
 — Малинина 3—256
 — Пономарева 3—248
 — Смирчека 3—386
 — Тумаркина 3—241
 — Шиманского расчета коэффициентов концентрации 3—418
 — Штаермана определения изгибных напряжений для оболочек вращения 3—207
 — Яновского 3—244
 — аналогии 3—33
 — аналогии для расчета плоских одноконтурных рам 3—159
 — остатка для определения частот собственных колебаний 3—363
 — пересечения характеристик для определения частот собственных колебаний 3—363
 — последовательных приближений расчета критической скорости (или частоты собственных колебаний) вала переменного сечения 3—371
 — распределения узловых моментов для расчета рам 3—165
 — сил для расчета статически неопределимых систем 3—156
 — сквозных сечений при расчете плоских ферм 3—143

- узловых сечений при расчете плоских ферм 3—143
- энергетический расчет собственных колебаний стержней и валов переменного сечения 3—369
- Метрическая система международная** 1—533
- Метр-компаратор** 4—9
- Метры** — Перевод в ярды 1—540
- штриховые 4—9
- Метчики** 5—353, 356, 357
- Механизация сборки** 5—752
- Механизмы** 1—407, 412, 413, 424, 431, 433, 438, 440, 451—531; 4—216
- блокирующие 1—529—531
- винтовые 1—488—492
- двухкулисные 1—481
- двухползунные 1—482
- зубчатые 1—492, 497, 498, 502—504, 508, 512, 527
- инверсоров 1—466
- исполнительные 2—422
- кривошипно-колонные 1—487
- кривошипно-коромысловые 1—460
- кривошипно-кулисные 1—480—484
- кривошипно-рычажные 1—487
- кривошипно-шатунные 1—460, 474, 477, 479; 3—359; 4—488—496
- кривошипные 3—348
- кулачково-коромысловые 1—520, 524
- кулачково-ползунные 1—520, 523
- кулачковые 1—513, 515, 516, 518, 520—522
- кулачковые плоские 1—517, 518
- мальтийские 1—525, 526
- пантографов 1—467, 469
- планетарные реверсивные 1—509, 510
- Механизмы плоские** 1—413, 414, 415, 416, 418, 421, 447, 449
- кулачковые трехзвенные 1—517
- с вращательными и поступательными парами 1—470, 482
- с поступательными парами 1—472
- Механизмы плоские шарнирные** 1—453, 456, 459
- антипараллелограммов 1—465
- двухкривошипные 1—464
- многозвенные 1—465
- направляющие 1—466
- с остановами 1—466
- четырехзвенные 1—457
- шестизвенные 1—455, 457
- шестизвенные кривошипно-коромысловые 1—465
- Механизмы ползунно-коленные** 1—487
- ползунно-кулисные 1—481
- реверсивные планетарные 1—509, 510
- роликовые храповые 1—528
- рычажные с качающимся цилиндром 1—488
- с одними поступательными парами 1—451
- трехзвенные 1—451
- храповые 1—527—529
- Механика** — Приложение интегрального исчисления 1—189
- теоретическая 1—352—406
- Механические величины** — Измерение 1—415
- Механические единицы** 1—382
- Механический эквивалент тепла** 2—40
- Мещерского уравнение** 1—386
- Микрогеометрия** 4—51, 53
- деталей, наклепанных дробью 5—587
- шлифованной поверхности 5—404
- МикроЗИС** 4—23, 30
- Микроинтерферометры** 2—251
- Микрокатоды** 4—16
- Микроанометры** 2—11, 456
- Микрометрические инструменты** 4—11—см. также *Глубиномеры микрометрические; Микрометры; Нутромеры микрометрические*
- Микрометры** 1—489; 4—11, 12, 15, 29
- Главчаспрома 4—15, 27
- поплавоквые 4—25
- поплавоквые пневматические 4—30
- пружинные 4—16, 29
- рычажно-зубчатые 4—15, 27
- Микрообъективы** 2—239, 242
- Микроскопы** 2—234, 242, 250, 251, 252; 3—522; 4—20, 28, 118, 122
- Микроструктура** — Контроль 6—65
- Микротвердость** — Измерение 6—18
- Миллиметры** — Перевод в дюймы 1—539
- Миниметры** 4—13, 27
- Миноры определителей** 1—115
- Михеева формула** 2—114, 147
- Мнимые эллипсоиды** 1—255
- Многозначные функции** 1—99
- Многоугльбльник сил** 1—353
- Многоугольники** — Площадь 1—106
- веревочные 1—364, 365
- правильные 1—104, 105; 3—41
- силовые 1—364
- Мода** 1—327
- Модели** 5—21, 23
- восковые 5—71, 72
- выплавляемые 5—72
- деревянные 5—20, 21
- литейные 5—19
- металлические 5—21
- механические 3—387

- объемные 3 — 520
- плоские 3 — 519
- прецизионного литья 5 — 71, 72
- электрические 3 — 388
- Моделирование** 3 — 386
- колебаний 3 — 388
- Модельные приспособления** 5 — 19
- Модификаторы** 5 — 50
- Модифицирование чугуна** 5 — 49, 50; 6 — 211
- Модуль** 4 — 295
- десятичных логарифмов 1 — 77
- зацепления 1 — 493; 4 — 321
- зубчатых колес 4 — 295, 351
- объемный 3 — 13
- ползучести 3 — 305
- продольной упругости 3 — 13, 22; 6 — 6
- сдвига 3 — 13, 22
- упрочнения 3 — 18
- упругости гетинакса 3 — 431
- упругости дельта-древесины 3 — 431
- упругости сдвига и кручения древесины 6 — 331
- упругости стали и чугуна 4 — 124
- червячных колес — Выбор 4 — 408
- Молекулы двухатомные** — Энергия связей 2 — 280
- Молекулярный вес газовой смеси** 2 — 46
- элементов и их соединений 2 — 282
- Молоты ковочные** 5 — 105, 106
- свободнойковки 5 — 107
- Молоты штамповочные** 5 — 114—116
- бесшаботные 5 — 115
- паро-воздушные 5 — 114
- фрикционные 5 — 115
- Момент асинхронных двигателей трехфазных** 2 — 394
- гирскопический 1 — 399
- затяжки для болтов 4 — 527
- изгибающий для винтовых пружин 4 — 632
- изгибающий предельный 3 — 276
- инерции 1 — 191, 392, 419; 3 — 44
- кинематический 1 — 389; — Уравнение 1 — 397
- количества движения — Теорема 1 — 403
- количества движения точки 1 — 386
- крутящий для винтовых пружин 4 — 632
- крутящий для торсиона редуктора — Пример расчета 3 — 446
- крутящий плоскоременных передач 4 — 460
- крутящий при резьбонарезании 5 — 363
- кручения в балках при сложном сопротивлении 3 — 103
- маховой, приведенный к валу двигателя — Определение 2 — 423
- приведенный для сечений — Формулы 3 — 111
- сопротивления валов 4 — 135—137
- сопротивления для сечений 3 — 40, 442
- сопротивления изгибу обобщенный — Формулы 3 — 295, 296
- сопротивления кручению обобщенный — Формулы 3 — 295, 297
- статический — Приведение к валу двигателя 2 — 422
- статический для сечений 3 — 276
- трения — Значение 1 — 436
- трения в зубчатых зацеплениях 1 — 437
- трения в подшипниках 1 — 437
- эквивалентный 2 — 430
- Моменты инерции единичные** 1 — 419
- пар 1 — 354
- сил 1 — 354
- Монель-металл** — Удельное рассеяние энергии при колебаниях 3 — 351
- Можжа обозначения производных функций многих переменных** 1 — 144
- Моногенные функции** 1 — 196
- Монотонные функции** 1 — 137
- Монтаж пластмассовых деталей** 5 — 605
- Мора гипотеза определения условий пластичности** 3 — 435, 436
- Мора интеграл** 3 — 152; 4 — 636
- Мора круг** 3 — 9
- Мора — Максвелла формула** 3 — 151
- Морзе конусы** 4 — 116
- Морская вода** — Солевой состав 2 — 195
- Мост Уитстона** 2 — 374
- Мосты измерительные постоянного тока с гальванометром** 3 — 491, 492
- Мощность** 1 — 367; 2 — 330, 333
- на валу асинхронных двигателей 2 — 394
- на приводе станка 5 — 313
- номинальная электрических машин — Определение 2 — 380
- плоскоременных передач 4 — 460
- при зубодоблении 5 — 393
- при фрезеровании 5 — 351
- тока — Измерение 2 — 373
- цепи переменного тока 2 — 341
- эквивалентная 2 — 430
- электрического тока 2 — 338
- электродвигателя — Расчет по условиям нагрева 2 — 426
- эффективная на резце 5 — 313
- эффективная при зенкеровании 5 — 331
- эффективная при расточке 5 — 318
- эффективная при резьбонарезании 5 — 362, 363

Муавра формула 1—86
 Муллит 6—377
 Мусковит 6—371
 Мультипликаторы 4—438
 Муфты 4—180—225: — Синхронизаторы 4—198
 — асинхронные малогабаритные 4—190
 — втулочные 4—189; — Характеристика 4—182
 — дисковые эластичные 4—187
 — жесткие 4—183; — Характеристика 4—182, 186, 187
 — жидкостные электромагнитные 4—207
 — зубчато-храповые 4—213
 — зубчатые 4—184; — Характеристика 4—183
 — колодочные 4—206
 — кольцевые 4—206
 — конусные 4—206
 — кулачковые 4—195
 — обгона 4—213; — Классификация 4—214, 215
 — пальцевые 4—187, 188
 — петлеобразные 4—190
 — плавающие 4—190
 — поперечно-свертные — Характеристика 4—182
 — постоянные соединительные — Характеристика 4—180
 — предохранительные 4—221—223; — Конструкции 4—221, 223; — Коэффициент 4—225
 — продольно-свертные — Характеристика 4—182
 — самоуправляемые 4—213
 — свободного хода — см. *Муфты обгона*
 — скольжения вихревые 4—209; — Классификация 4—210, 212; — Конструкция 4—13; — Механические характеристики 4—209; — Тяговые характеристики 4—213
 — соединительные 4—195; — Включение 4—197
 — сцепные 4—195
 — фланцевые — см. *Муфты поперечно-свертные*
 — фрикционные 4—199, 202, 204; — Диски 4—206; — Классификация 4—199, 205; — Конструкция 4—199, 202—204; — Схемы 4—437
 — цапфовые 4—191
 — центробежные 4—214
 — цепные — Характеристика 4—183
 — шарнирно-раздвижные 4—192
 — шарнирные 4—189, 191, 192, 194, 195; — Детали 4—193, 194
 — шаровые 4—191

— электромагнитные порошковые 4—207

Мятие — см. *Дросселирование*

Н

Набивки 6—366, 367
 — по трафарету 5—741
 Набор материала в пуансоне — Схема 5—123, 124
 Нагреватели центробежные 2—59
 Нагрев заготовок индукционный 5—101, 102
 — зубчатых передач 4—350
 — параллелепипеда 2—136
 — пластин 2—129, 131
 — под пайку 5—213
 — цилиндров 2—133, 134, 136
 — шаров 2—136
 — электродвигателя 2—427
 Нагружение комбинированное — Кривая усилий предельная 3—453
 — простое — Запас прочности 3—453
 — пружины амортизатора ударное 4—644
 — сложное — Несущая способность — Определение 3—454
 Нагрузки — Измерение по деформации пружинящего элемента 3—511
 — Определение тензодатчиками проволочными 3—508
 — Типы 3—428
 Нагрузки допускаемые для балок 3—91, 273
 — для проводов и кабелей 2—351
 — для троллеев 2—351, 352
 — для шин 2—351, 352
 — статические подшипников качения 4—243—250
 Нагрузки критические 3—308
 — для колец круговых 3—325
 — для стоек 3—311, 315, 317—320
 Нагрузки на валы цепных передач 4—430
 — на коленчатые валы 4—162
 — на ходовые колеса 4—804
 — предельные для пластинок и оболочек постоянной толщины — Определение 3—284, 439
 — статические для болтов допускаемые 4—527
 — статические для подшипников качения — Определение 4—240
 — ударные 3—481; — Расчет 3—390—402; — Метод приведения массы 3—399
 Надрезы — Коэффициент концентрации 3—413—415, 445
 Наименьшие делители чисел 1—9

- Накатка** 5—142
 — прямая 5—584
 — ромбическая 5—584
- Накатывание** 5—575, 576, 585
 — резьбы 5—178, 574—577
 — рифленых поверхностей 5—583
- Наклеп** 3—287, 470; 6—111
 — дробеструйный деталей 5—585—587
- Наконечники к шприцам (для смазки)** 4—710, 711
- Наладка токарно-револьверных станков для изготовления подшипниковых втулок**—Схема 5—504
- Намагничивание деталей** 6—71, 72
- Наметка**—Допуски 5—237
 — размеров 5—235
- Наплавка** 5—208
- Напор** 2—463; — Потери 2—467
 — в трубопроводах—Расчет 2—498
 — динамический 2—520
 — потерянный для диафрагм, сопел и труб Вентури 2—496
 — скоростной 2—520
 — температурный 2—138, 139
- Направляющие для прямолинейного движения** 1—409
 — кругового движения 1—410
- Напрессовка фрикционного слоя на металлокерамические фрикционные изделия** 5—265
- Напряжения** 3—5—20
 — Интенсивность 3—9; — Зависимость от интенсивности деформаций 3—18
 — Исследования — Аппаратура 3—522
 — Компоненты 3—5; — Правило знаков 3—6
 — Концентрация 3—403
 — Круговая диаграмма — Построение 3—9
 — Определение на объемных моделях 3—529
 — Определение тензодатчиками 3—508
 — Определение экспериментальное 3—488
 — Равномерность 3—5
 — Распределение — Изучение 3—499
 — Поляризационно-оптические исследования 3—519
 — Релаксация 3—292
 — Составляющие 2—515
 — Тензометрирование 3—505, 506
 — Эллипсоид 3—9
 — Эпюры 3—20
- Напряжения аккумуляторов** 2—357
 — в балках 3—86, 87; 4—682
 — в брусках 3—112, 117
 — в гибких валах 4—178
 — в головках шатунов кривошипно-шатунных механизмов 4—493
 — в деталях машин — Определение экспериментальное 3—499
 — в зоне контакта 3—419, 424, 425
 — в зоне концентрации 3—507
 — в клиновых ремнях 4—481
 — в маховике 3—231
 — в пластинках 3—300
 — в подшипниках качения 4—228
 — в поперечном сечении при изгибе касательные 3—87
 — в поршневых пальцах кривошипно-шатунных механизмов 4—490
 — в поясных швах сварных балок 4—672
 — в пределах упругости — Выращивание через деформации 3—14
 — в приводных ремнях 4—461
 — в симметричных оболочках изгибные местные 3—204
 — в соединениях с гарантированным натягом 4—126
 — в спарнике 3—231
 — в стержнях 3—22, 24, 229, 233
 — в стойках критические за пределами упругости 3—319
 — в толстостенных трубах 3—299
 — в толстостенных шарах 3—227, 228
 — в толстостенных цилиндрах 3—221, 224
 — в тонкостенных оболочках 3—203
 — в тонкостенных стержнях 3—170
 — в тонкостенных трубках 3—299
 — в торových вариаторах 4—448
 — в условиях пластичности 3—283
 — в шатуне 3—231
 — во вращающихся валах 3—236
 — во вращающихся дисках 3—237—241, 243, 249, 281, 282
- Напряжения главные** 3—6, 19, 506, 526
 — в плоских моделях 3—528
 — в точках поверхности вала 3—28
 — вызываемые сваркой 4—666; 5—224, 248
 — для пружин предельные при асимметричных циклах 4—646, 647
 — равные — Линии 3—20
- Напряжения допускаемые** 3—434, 442, 482, 484, 485
 — для заклепок прочных швов 4—670
 — для клиновых ремней 4—482, 483
 — для металлоконструкций 4—659
 — для пружин витых растяжения—сжатия 4—619, 620
 — для пружин и рессор — Выбор 4—617, 618, 656
 — для резьбовых соединений — Отношение к пределу текучести 4—526
 — для сварных швов 4—663

- для тормозных лент 4—794
- для шпонок 4—584
- контактные для торовых вариаторов 4—448
- контактные для фрикционных передач 4—447
- на смятие зубьев шлицевых соединений 4—595
- по разрушающим нагрузкам для сечений 3—442
- при продольном изгибе центрально сжатых элементов сварных ферм — Коэффициент уменьшения 4—686
- при расчете на усталость 3—452

Напряжения и деформации в пределах упругости — Зависимости (по закону Гука) 3—14

— кривых брусьев 3—112

Напряжения затяжки резьбовых соединений 4—534

— изгиба в кривошипных головках 4—494

— изгиба в стержне шпильки — Расчетная схема 4—528

Напряжения касательные 3—5; — Зависимость от угловой деформации 3—277; — Свойство парности 3—6

— контактные 3—418

— кручения наибольшие при круглом поперечном сечении вала 3—27

— максимальные при кручении бруса при установившейся ползучести 3—295

— местные 3—403—427

— на ненагруженном контуре 3—527

— наибольшие при растяжении и сжатии 3—443

— нормальные 3—5

— октаэдрические 3—8

— остаточные 3—287

— переменные — Циклы 3—448

— по наклонным площадкам 3—6

— полные 3—5

— при изгибе брусьев кривых плоских 3—114

— при контакте деталей машин 3—419, 420, 426

— при пластической деформации — Выражение через деформации 3—17

— при приложении нагрузки к поверхности детали машин — Формулы 3—420

— при установившейся ползучести изогнутых брусьев 3—295

— приведенные для сечений — Формулы 3—110, 111

— приведенные при расчете на прочность 3—437

— приведенные при расчете на сопротивление пластическим деформациям 3—436

— приведенные при расчете на усталость при симметричном цикле 3—450

Напряжения контактные в подшипниках качения — Расчетные формулы 4—226

— линейные — Соотношение с фазными 2—342

— низковольтных сетей промышленных предприятий 2—350

— номинальные приемников электрической энергии 2—380

— остаточные после закалки 5—698

— поверхностные 2—318, 453, 454

— полупроводниковых выпрямителей 2—369

— предельные для пружин при асимметричных циклах — Диаграммы 4—646, 647

— силовых и термических токоприемников 2—350

— тока — Измерение 2—373

Напряженное состояние — Изображение 3—507

— Определение — Метод покрытия 3—515

— Сложение 3—11

— Типы 3—8

— Формулы 3—6, 7, 8

Напряженное состояние в винтовых брусьях 3—118

— материала — Влияние на прочность 3—447

— сложное — Запас прочности по усталости 3—452

Напряженность магнитного поля 2—332

— электрического поля 2—330

Наращивание металла электроискровое 5—663

Нарезание метрической резьбы — Число проходов 5—361

— ниток червяка скоростное 5—530

— резьбы 5—352

Наросты — Образование 5—273

Насадки 2—480; 4—704, 705

Насосы для консистентной смазки 4—712

— лопастные 4—704

— плунжерные 4—703, 710, 711

— тепловые 2—105

— шестеренные 4—704

Натирки 5—18

Натуральные логарифмы чисел — Таблицы 1—42

Натяг 4—2

— деталей 4—124

- посадок 4—103, 125, 353
- при калибровании 5—569
- Натяжение поверхностное 2—318, 453, 454
- Натяжение приводных ремней 4—458
- Недепланирующие профили тонкостенных стержней 3—169
- Нейтронс 2—272
- Неметаллические материалы 3—431; 6—329—394
- Неоднородные дифференциальные уравнения 1—216
- Неолейкорит 6—350
- Неопределенности — Раскрытие 1—142
- Неопределенные интегралы 1—154, 165, 173
- Неорганические соединения — Температуры и теплоты плавления и испарения 2—295
- Неполная закалка 5—671
- Неполный отжиг 5—667
- Непрерывные дроби 1—71, 73
- Непрерывные функции 1—136
- Несобственные интегралы 1—174, 176, 177
- Несущая способность 3—434
 - балок 3—273
 - брусев при кручении 3—278
 - брусев при совместном растяжении, кручении и изгибе 3—278
 - вращающихся дисков 3—281
 - деталей из малопластичных и хрупких материалов 3—443
 - деталей из материалов в пластическом состоянии 3—440
 - для сложного нагружения 3—454
 - оболочек 3—284
 - пластинок 3—284
 - по сопротивлению пластическим деформациям 3—441
 - при действии нескольких нагрузок 3—480
 - при переменных напряжениях 3—451
 - при простом нагружении 3—480
 - при сложных напряженных состояниях 3—452
 - при статических напряжениях 3—439
 - при хрупком состоянии 3—442
 - толстостенных труб под давлением 3—280
- Неубывающие функции 1—137
- Нефтепроводы — Гидравлический расчет 2—475
- Нефтепродукты — Вязкость 2—452
- Удельный вес 2—450
- Неферромагнитные материалы 6—63
- Нецентральные кривые 1—247
- Неявные функции 1—146
- Низкий отпуск 5—680
- Низкотемпературный отжиг 5—668
- Никелирование 5—714, 723, 726
- Никель 3—22; 6—276, 277
- Николаева прибор для определения твердости 6—18
- Никомеда конхоида 1—273
- Никурадзе формула 2—471
- Нити асбестовые 6—365
 - гибкие 3—24, 25
- Ножи зубьев эвольвентных зацеплений 1—493
- Номинальные размеры — Определение 4—2
- Номинальный ток силовых и термических токоприемников 2—350
- Номограммы для гидравлического расчета трубопроводов 2—474
 - для составления смазок 2—221
 - Z (зет) 1—319
 - из выравненных точек 1—318
 - логарифмические 1—317
 - лучевые 1—316
 - на параллельных шкалах 1—319
 - нулевого жанра 1—318
 - построения графиков заострения зубьев зубчатых передач 4—369, 371
 - с четырьмя переменными 1—319
 - сетчатые 1—315, 316
 - скорости резания 1—316, 317, 319
- Номограммы для определения коэффициента перекрытия зубчатых передач 4—372
 - межцентрового расстояния и коэффициента коррекции 4—224
 - разности инволют при проверке зуба на заострение 4—368
 - скоростей и ускорений в кулачковых механизмах 1—521
 - угла зацепления косозубых и шевронных зубчатых колес 4—342
- Номограммы для определения чистоты поверхности при зенкеровании 5—428
 - при развертывании 5—429
 - при растачивании 5—430
 - при строгании 5—430
 - при точении 5—427
 - при фрезеровании 5—428, 429
- Номография 1—314—320
- Нормали 1—259; — Длина 1—260, 267
 - к поверхности 1—294; — Уравнения 1—295
 - пространственной кривой 1—283
 - эвольвенты окружности — Длина 1—278
- Нормализация 5—668
 - отливка из высокопрочного чугуна 5—709

- приспособлений для механической обработки деталей машин 5—492
- Нормальные диаметры и длины** 4—79, 80
- червяков 4—409
- Нормы кинематической точности конических зубчатых колес** 4—313
- кинематической точности цилиндрических зубчатых колес 4—301
- колебаний и отклонений измерительного межосевого угла зубчатых передач 4—314
- колебаний и отклонений измерительного межцентрового расстояния цилиндрических зубчатых колес 4—304
- контакта зубьев в цилиндрических зубчатых передачах 4—303
- контакта зубьев конических зубчатых колес 4—314
- плавности работы конических зубчатых колес 4—313
- плавности работы цилиндрических зубчатых колес 4—302
- расхода материалов в окрасочных цехах 5—743
- Нулевая линия** 4—3
- Нуссельта критерий теплоотдачи** 2—140
- Нутромеры** 4—12, 109, 111
- Ньютона бином** 1—74—76
- закон второй 1—383, 386
- закон первый 1—383
- закон третий 1—383
- формулы 1—303, 304
- Ньютона — Лейбница формула** 1—173
- Ньютона — Рихмана закон** 2—125

О

- Обдувка дробью** 3—470
- Обезжиривание химическое и электролитическое — Режимы** 5—720
- Обертоны** 3—340
- Обескислороживание воды** 2—202
- Обессеривание стали** 5—53
- чугуна 5—49
- Обессоливание воды** 2—202
- Обечайки — Сборка** 5—246
- Обкатка зубчатых венцов** 5—374
- по диаметру 5—110
- роликом 3—470
- Обкатывание** 5—573, 574
- поверхностей вращения 5—571
- Обкладки валов** 6—359
- Обмазки для электродов** 6—327
- Обмотки** 2—342, 382
- Обобщенные координаты** 6—368
- Обобщенные силы** 6—368
- Ободья зубчатых литых колес** 4—352

- ходовых крановых колес — Расчет 4—805
- Обозначения** 3—1
- Монжа производных функций многих переменных 1—144
- аппаратов для элементарных схем 2—437
- для зубчатых передач 4—291
- магнитных величин 2—328
- математические 1—1
- на чертежах буквенные 4—809
- посадок по системе ОСТ 4—89
- при штриховке 4—811
- резьб на чертежах 4—815
- углей 2—177
- основные термодинамические 2—40
- электрических величин 2—328
- Оболочки — Колебания собственные — Частота** 3—376
- Нагрузки продольные — Определение 3—284
- Несущая способность 3—284
- Расчет 3—203—218
- Оболочки бесконечной длины под действием равномерно распределенной по окружности силы — Предельная нагрузка** 3—287
- большой гибкости — Расчет на жесткость 3—210
- Оболочки вращающиеся — Расчет** 3—265
- конические алюминиевые — Пример расчета 3—270
- конические переменной толщины — Расчет 3—265, 266
- цилиндрические тонкостенные — Расчет 3—265
- Оболочки вращения — Определение изгибных напряжений** 3—207
- под действием равномерно распределенной нагрузки по поверхности и моментов по торцам — Предельная нагрузка 3—286
- симметричные 3—203, 204
- сферические под действием внешнего давления — Расчет на устойчивость 3—209
- сферические под действием нагрузки — Напряжения и перемещения — Расчет на устойчивость 3—206
- тонкостенные — Напряжения и перемещения 3—203; — Расчет на устойчивость 3—207
- Оболочки цилиндрические — Расчет на устойчивость** 3—206, 208, 209
- Оборудование для анодно-механической обработки металлов — Классификация** 5—645, 646

- для гальванизации — Выбор 5 — 727
- для дробеструйного наклепа 5 — 587
- для изготовления стальных конструкций 5 — 232, 233
- для контактной сварки 5 — 192
- для кузнечной обработки 5 — 103, 104
- для обкатывания поверхностей 5 — 571
- Оборудование для обработки валов** 5 — 496, 499, 500
- зубчатых колес 5 — 521, 530, 533
- корпусов и коробок 5 — 544
- рычагов 5 — 537—542
- червяков 5 — 530, 531
- шкивов 5 — 516, 517, 518
- Оборудование для производства подшипниковых вкладышей** 5 — 506, 507
- для производства подшипниковых втулок 5 — 505
- для химико-механической обработки 5 — 664
- для холодной правки 5 — 566
- для электроискровой обработки 5 — 656; — Характеристика 5 — 661
- Обрабатываемость металла резанием** 6 — 34
- Обработка зубчатых передач** 4 — 298
- металлов 5 — 197, 431, 432
- термическая — Обозначение на чертежах 4 — 817
- Образцовые термометры** — Шкалы 2 — 4, 5
- Образцы алюминиевые** — Предел выносливости 3 — 466
- для испытания на кручение 6 — 11
- для испытания на растяжение 6 — 4, 5
- для испытания на ударную вязкость 6 — 20
- стали для контрольных испытаний — Схемы вырезки 6 — 120
- стальные — Обкатка роликом 3 — 465, 467, 471
- Обратные величины чисел** 1 — 12
- Обратные функции** 1 — 91, 99, 101, 196
- Обрезка** 5 — 140
- высаженных деталей по контуру 5 — 175
- заусенцев поволоков при штамповке 5 — 133
- Обтачивание вала многорезцовое** — Схема 5 — 503
- поверхностей вкладышей 5 — 509
- Обтекание клина** 2 — 527
- конуса 2 — 528
- пластинки 2 — 511
- стенок газом 2 — 526
- цилиндра 2 — 509
- шара 2 — 512
- Объективы** 2 — 242 — см. также по их названиям, например, *Апохроматы; Ахроматы; Зеркально-линзовые объективы; Кварцевые объективы*
- Объем генеральной совокупности** 1 — 328
- однородный — Центр тяжести 1 — 359
- тела — Вычисление 1 — 108, 190
- тела вращения 1 — 111
- Объемный вес изоляционных материалов** 2 — 119
- огнеупоров 2 — 118
- Объемомер Лермантова** 2 — 14
- Объеммеры** 2 — 13
- Обыкновенные уравнения дифференциальные первого порядка** 1 — 206
- Овал Кассини** 1 — 265
- Овальность** — Контроль 4 — 34
- Пример записей на поле чертежа 4 — 813
- Огибающая** 1 — 268
- Огиба** 1 — 326
- Огнеупоры** 2 — 118; 5 — 40; 6 — 376—379
- Ограничение по модулю в смещении исходного контура** 4 — 403
- Ограниченные величины** 1 — 134
- Огранка** 4 — 34, 35
- Однозначные функции** — Особые точки 1 — 199
- Однополостные гиперболоиды** 1 — 257
- Однородные уравнения дифференциальные** 1 — 207
- Однотавры с полкой постоянной толщины** — Напряжения и угол закручивания при кручении 3 — 32
- Однофазные двигатели** — см. *Асинхронные двигатели однофазные; Конденсаторные двигатели однофазные*
- Ожидание математическое случайной величины** 1 — 326
- Окислители для сталеварения** 5 — 51
- Окисляемость воды** 2 — 193
- Окраска** — Организация работ 5 — 744
- деревянных моделей 5 — 21
- Округление приближенных чисел** 1 — 65
- Окружности** 1 — 240; 4 — 321
- Деление на n частей 1 — 105
- Длина 1 — 12
- Дуги — Длины в градусах — Перевод в радианы 1 — 39 — — Спрямление 1 — 281
- Качение 1 — 272
- Уравнения 1 — 240, 242, 243
- Числовые зависимости 1 — 104
- Эвольвента 1 — 270, 272, 276—278

- Окружности делительные 1 — 493
 Окружность соприкасающаяся 1 — 266
 — трения 1 — 435
 Оксидирование 5 — 715, 718
 Октава 2 — 256
 Октаэдрический сдвиг 3 — 12
 Окуляр-микрометры 2 — 245, 250
 Окуляры 2 — 241, 242, 244, 245
 Олифы 6 — 393
 Оловянные покрытия 5 — 714, 722
 Ома закон для магнитной цепи 2 — 337
 — для цепей переменного тока 2 — 340
 — для цепей постоянного тока 2 — 337
 — для электролитов 2 — 354
 Омметры — Схема 2 — 375
 Опак-иллюминаторы 2 — 252
 Оператор Лапласа 1 — 234
 — набла 1 — 231
 Операционные исчисления 1 — 218
 Пережающая трещина при резании 5 — 272
 Опоки 5 — 18, 19
 Опорные реакции 3 — 140
 — в консольных балках 3 — 56—66
 — в однопролетных балках 3 — 56—66
 — неразрезных балок — Расчет 3 — 69
 Оporожнение водохранилищ 2 — 483
 — резервуаров 2 — 483
 Опоры 3 — 140
 — Жесткость — Влияние на частоту поперечных колебаний 3 — 373
 — Податливость — Влияние на частоту поперечных колебаний 3 — 372
 Опоры для установки заготовок 5 — 480, 481
 Оправки разжимные для установки заготовок по обработанному отверстию 5 — 481, 482
 Определители 1 — 115
 Опрокидывание 1 — 369; 3 — 325
 — балок двутавровых 3 — 329
 — полос криволинейных 3 — 339
 — полос при изгибе 3 — 326, 327
 Оптика 2 — 224—253; — Просветление 2 — 229
 — геометрическая 2 — 228
 — напряжений 3 — 519
 — физическая 2 — 226
 Оптиметры 2 — 250; 4 — 23, 28
 Оптическая сила 2 — 232
 Оптические делительные головки 2 — 250; 4 — 118, 122
 Оптические делительные столы 4 — 118, 122
 Оптические детали — Крепление 2 — 238
 Оптические измерительные приборы 2 — 249
 Оптические квадранты 2 — 252
 Оптические приборы 2 — 245, 246
 Оптические системы — Главные лучи 2 — 233
 — Главные плоскости 2 — 231
 — Основные типы 2 — 240
 — Построение изображения 2 — 231
 — Разрешающая сила 2 — 234
 — Расчет габаритный 2 — 234
 — Световые пучки — Ограничение 2 — 233
 — Увеличение 2 — 232
 — Фокусы 2 — 231
 Оптические угломеры 2 — 252
 Органические соединения — Свойства 2 — 296
 — Температуры плавления и испарения 2 — 302
 — Теплоты сгорания, плавления и испарения 2 — 302
 Оргстекло 3 — 22; 5 — 603, 610, 614—616; 6 — 350
 Ординаты 1 — 238, 249, 365
 Осадка заготовок 5 — 109, 110
 Орт бинормали 1 — 284
 — нормали пространственной кривой 1 — 284
 Ортогональная траектория 1 — 271
 Орты 1 — 250
 — главных нормалей — Производные 1 — 292
 Осадка пружин критическая 3 — 331
 Осаждение металлов электролитическое — Продолжительность 5 — 726
 Осветлители суспензионные 2 — 197
 Осветление воды 2 — 196
 Осевые усилия тормозов — Расчет 4 — 797
 Оси 4 — 129—179
 — координат — Поворот 1 — 250
 — сечения главные 3 — 36
 — стержней большой гибкости изогнутые — Построение 3 — 120, 124; — Связь с периодической кривой 3 — 128; — Форма 3 — 126
 Оснастка для обработки отверстий 5 — 548
 — рычагов 5 — 540
 Особые точки 1 — 199, 262, 263
 ОСТ 964 6 — 393
 ОСТ 1683 6 — 43
 ОСТ 1684 6 — 43
 ОСТ 1688 6 — 43
 ОСТ 1689 6 — 44
 ОСТ 1690 6 — 44
 ОСТ 1692 6 — 44
 ОСТ 1693 6 — 43
 ОСТ 1694 6 — 44
 ОСТ 1695 6 — 44
 ОСТ 1697 6 — 44

- ОСТ 2982 6 — 276
 ОСТ 2987 6 — 276
 ОСТ 10014-39 6 — 174
 ОСТ 10015-39 6 — 179
 ОСТ 10016-39 6 — 181
 ОСТ 10017-39 6 — 184
 ОСТ 10043-38 6 — 350
 ОСТ 10465-39 6 — 393
 ОСТ 10927-40 6 — 390
 ОСТ 10941-40 6 — 391
 ОСТ 18163-39 6 — 391
 ОСТ НКПП 520 6 — 393
 ОСТ НКТП 7129 6 — 187
 ОСТ НКТП 7130 6 — 187
 ОСТ НКТП 7474/581 6 — 393
 ОСТ НКТП 7476/583 6 — 393
 ОСТ НКТП 8190/1187 6 — 391
 Остановы роликовые 4 — 788
 — фрикционные 4 — 787
 — храповые 4 — 785; — Размеры 4 — 786; — Расчет 4 — 787
 Остаточные погрешности 1 — 331
 Остойчивость 2 — 459
 Остроградского метод интегрирования 1 — 159
 — теорема 1 — 233
 — уравнение 1 — 403
 — формула 1 — 188
 Остроградского — Гамильтона принцип 1 — 392
 Осциллограммы цикла единичного разряда конденсаторной установки 5 — 650
 Осциллографы 2 — 375; 3 — 497, 498
 Осцилоскопы 2 — 376
 Отбортовка 5 — 146
 Отбортовки у отливок 5 — 84, 85
 Отверстия — Диаметральные размеры свыше 500 до 5000 мм — Допуски 5 — 447, 477; — Отклонения 4 — 102
 — Измерение — Универсальные средства и методы 4 — 111, 112
 — Изображение условное на чертежах 4 — 816
 — Калибрование 5 — 568, 570
 — Обработка 5 — 541, 545—551, 654
 — Образование 5 — 240
 — Припуски на обработку — Нормативы для расчета 5 — 447, 474—476
 — Пробивка штампами 5 — 152, 153
 — Прошивка электронскровая — Зазоры 5 — 653
 — Раскатывание 5 — 572
 — Электронскровая обработка 5 — 654
 Отверстия в деталях машин — Конструирование 5 — 555
 — в корпусных деталях — Виды 5 — 549—551
 — в отливках — Диаметры наименьшие 5 — 83, 84; — Построение 5 — 83; — Размеры 5 — 84
 — в слоистых пластмассах — Обработка 5 — 608
 — заклёпочные — Подготовка под клепку 5 — 249
 — монтажные — Образование 5 — 252
 — от 0,1 до 10 000 мм — Отклонения 4 — 83, 86
 — от 1 до 500 мм — Допуски 5 — 447, 476
 — переходных и свободных посадок для диаметров от 1 до 500 мм — Отклонения 4 — 87
 — переходных и свободных посадок для диаметров свыше 500 до 10 000 мм — Отклонения 4 — 102
 — под клин в клиновых соединениях — Форма 4 — 610, 611
 — прессовых, переходных и свободных посадок для диаметров от 0,1 до 1 мм — Отклонения 4 — 98
 — прессовых посадок для диаметров от 1 до 500 мм — Отклонения 4 — 90, 94
 — сопряженные — Обработка механическая — Припуски 5 — 84
 — тонкие — Прошивание электронскровым способом 5 — 658
 Отвертки 5 — 755
 Отводы — Коэффициент сопротивления 2 — 489
 — трубопроводов 2 — 494, 495
 Отдача аккумуляторов 2 — 358
 Отделение корней 1 — 123
 Отделка изделий — Обозначения на чертежах 4 — 817
 Отжиг отливок из высокопрочного чугуна 5 — 709
 — отливок из серого чугуна — Режимы 5 — 702
 — стали 5 — 666; — Влияние на магнитные свойства 5 — 668; — Влияние на механические свойства 5 — 667; — Влияние на обрабатываемость резанием 5 — 666
 Отклонение случайной величины 1 — 327
 — среднее квадратическое 1 — 305
 Отклонения валов для диаметров от 0,1 до 10 000 мм 4 — 83, 86
 — переходных и свободных посадок для диаметров от 1 до 500 мм 4 — 87
 — переходных и свободных посадок для диаметров свыше 500 до 10 000 мм 4 — 102
 — прессовых, переходных и свободных посадок для диаметров от 0,1 до 1 мм 4 — 98
 — прессовых посадок для диаметров от 1 до 500 мм 4 — 90, 94

- Отклонения допускаемые по весу отливков 5—77, 78
- допускаемые размеров отливок 5—77, 78
 - межцентрового расстояния цилиндрических зубчатых передач 4—306
 - отверстий для диаметров от 0,1 до 10 000 мм 4—83, 86
 - переходных и свободных посадок для диаметров от 1 до 500 мм 4—87
 - переходных и свободных посадок для диаметров свыше 500 до 10 000 мм 4—102
 - предельные на свободные размеры для древесины 5—621
 - прессовых, переходных и свободных посадок для диаметров от 0,1 до 1 мм 4—98
 - прессовых посадок для диаметров от 1 до 500 мм 4—90, 94
 - размеров — Определение 4—2
 - элементов конических резьб — Компенсации 4—521
- Отливки — Вес — Отклонения допускаемые 5—77, 78
- Конструкция — Построение 5—77
 - Обработка — Технологическая схема 5—37
 - Оборотка — Размеры 5—84, 85
 - Отверстия — Диаметры наименьшие 5—83, 84
 - Отверстия и полости внутренние — Построение 5—83
 - Пересечения облегченные — Схемы 5—82
 - Поверхности основные — Уклоны 5—76
 - Поверхности сопрягаемые — Радиус скругления 5—82
 - Размеры — Допускаемые отклонения 5—77, 78
 - Ребра, фланцы, бобышки и приливы — Конструирование 5—85
 - Сопряжения — Конструирование — Метод вписанных окружностей 5—82
 - — Конструкция 5—82
 - Стенки — Скругления — Схема 5—83
 - — Сопряжения 5—80—82
 - — Толщина 5—78—80
 - Углы — Конструкция 5—82
 - Углы и переходы — Конструирование 5—80
 - Усадка 5—21
- Отливки из высокопрочного чугуна 5—709, 710
- из белого чугуна 6—224, 225
 - из графитизированной стали 6—243
 - из отбеленного чугуна 6—226
 - из углеродистой стали 6—140
 - из серого чугуна 5—701, 702; 6—214, 218—221
 - из цветных металлов — Термическая обработка 5—710
 - из цветных сплавов кокильные 5—63, 64
 - кокильные 5—63, 64
 - под давлением 5—64, 65
 - правильной конструкции 5—76
 - прецизионные 5—74, 75
 - с ребристым сечением 5—85
 - стальные — Питание 5—34; — Радиусы закруглений 5—83
 - стальные прецизионные — Механические свойства 5—75
 - центробежные — Механические свойства 5—69, 71
 - центробежные стопочные 5—67
 - чугунные кокильные 5—63
- Относительная погрешность предельная 1—65
- Отношение передаточное 4—4
- Отображение конформное 1—201; 2—510
- Отпуск стали 5—677, 680, 697
- Отражательные призмы 2—234, 235
- Отражение звука 2—259
- Отрезки — Деление в данном отношении 1—238
- полярные 1—260
- Отрицательные числа — Действия 1—63
- Отставание смазочных масел 4—719
- Отходы и заусенцы при штамповке — Определение — Расчетные формулы 5—115
- на угар и обсечки для поковок 5—108
- Охлаждающие жидкости 5—325, 335, 391, 578
- Охлаждение металлов и сплавов при обработке 5—306
- параллелепипеда — Расчет 2—136
 - пластин — Расчет 2—129, 131
 - поковок 5—102
 - при протягивании 5—372
 - при резьбонарезании 5—362
 - при сверлении 5—325
 - при фрезеровании 5—347
 - стали в закаливающих средах — Скорость 5—675
 - стали при закалке — Кривые 5—673, 674
 - шара 2—136
- Оценка частоты 1—330
- Очистка воды 2—199, 203
- деталей 5—752, 753

- консистентных смазок — Устройства 4 — 719
- литья — Оборудование 5 — 39; —
Технология 5 — 37
- металлических поверхностей огне-
вая 5 — 209
- смазочных масел — Устройства 4 —
719
- Ошибка средняя квадратическая сред-
невзвешенного 1 — 332
- Ошибки — Измерение 1 — 331, 332
- вероятные 1 — 331
- в шаге прямозубых колес 4 — 344
- пантографа — Определение 1 — 469
- плоских механизмов 1 — 445
- положения винтовых механизмов
1 — 491

П

- Павловского формула 2 — 273
- Пазы 5 — 553
- Пайрекс 6 — 373, 374
- Паллоидное зацепление 4 — 363, 364
- Пальцы поршневые кривошипно-шатун-
ных механизмов 4 — 489, 490
- установочные для заготовок по ци-
линдрическим отверстиям 5 — 480,
481
- Панели сферические под действием на-
грузок 3 — 210
- Пантографы 1 — 467, 469
- Паппа — Гульдена теорема 1 — 364
- Пар — Дросселирование 2 — 92
- Истечение 2 — 91
- Конденсация — Теплоотдача 2 — 150
- Коэффициент динамический 2 — 142
- Определение 2 — 61
- Степень черноты 2 — 162
- Тепловые свойства 2 — 31
- Пар во влажном воздухе — Удельный
вес 2 — 107
- Энтальпия 2 — 108, 111
- Пар насыщенный — Определение 2 —
61; — Формулы 2 — 61
- влажный — Параметры 2 — 61
- сухой — Параметры 2 — 61; — Та-
блицы величин 2 — 62
- Пар перегретый — Определение 2 — 61
- Таблицы величин 2 — 62
- Тепловые свойства 2 — 72
- Теплоемкость 2 — 68, 70, 88
- Удельный объем 2 — 72
- Формулы 2 — 62
- Пар ртутный сухой насыщенный — Па-
раметры 2 — 95
- Параболические сегменты — Площадь
1 — 107
- Параболические точки поверхности 1 —
296

- Параболические цилиндры — Уравнения
1 — 256
- Параболоиды — Уравнения 1 — 256, 257
- вращения 1 — 111
- гиперболические 1 — 256, 257
- Параболы — Построение 1 — 256, 257
- Уравнения параметрические 1 — 247
- Элементы 1 — 246 — 249
- Параболы квадратные — Сегмент —
Центр изгиба 3 — 102
- Параллелепипед сил 1 — 353
- Параллелепипеды 1 — 108; 2 — 136
- Параллелограмм сил 1 — 353
- Параллелограммы — Площадь 1 — 106
- Параллельное соединение источников
энергии 2 — 339
- конденсаторов 2 — 331
- приемников энергии 2 — 339
- Параллельность прямых — Условия 1 —
242
- Параметризация 1 — 259
- Параметры шлицевых соединений 4 —
587
- Парсит 6 — 369
- Паропроводы — Гидравлический расчет
2 — 475
- Паро-силовые установки 2 — 93
- Паро-эжекторные холодильные ма-
шины — Схема 2 — 104
- Цикл работы 2 — 105
- Парциальное давление газовой смеси
2 — 46
- Пары — Коэффициент теплопроводности
2 — 124, 125
- аммиака насыщенные — Свойства
2 — 98
- винтовые — К: п. д. 1 — 490
- зубчатые 1 — 495, 511, 513
- качательного движения 1 — 411
- кинематические — см. *Кинематиче-
ские пары*
- сернистого ангидрида насыщен-
ные — Свойства 2 — 99
- сил 1 — 355
- углеводов насыщенные —
Свойства 2 — 102
- углекислоты насыщенные — Свой-
ства 2 — 103
- фреонов насыщенные — Свойства
2 — 99 — 101
- шаровые 1 — 411
- Паскаля закон 2 — 455
- треугольник 1 — 75
- Пассивирование 5 — 724
- Паста ГОИ — Состав 5 — 417
- Пасты 5 — 17
- магнитные 6 — 74
- Патроны газотворные 5 — 36
- для завертывания винтов и шпилек
5 — 756

- для установки конических шестерен с прямым зубом — Схема 5 — 483
- для установки цилиндрических зубчатых колес 5 — 483
- Педали 4 — 799
- Усилия наибольшие допустимые 4 — 801
- Пекле критерий конвективного теплообмена 2 — 140
- Пектиновый клей 5 — 9
- Пенопласты 6 — 350
- Пентоды 2 — 364
- Перебег резца на станках 5 — 313
- Перегрузжатели — Пример расчета 3 — 141
- Передаточное отношение 4 — 4, 219, 492
- Передаточное число 4 — 292
- зубчатой пары 4 — 321
- плоскоремненных передач 4 — 460
- Передачи 4 — 284 — см. также по их названиям, например *Гипоидные передачи; Зубчатые передачи; Клиноременные передачи; Ременные передачи; Фрикционные передачи; Цепные передачи; Червячные передачи*
- зацеплением с переменным передаточным отношением — Характеристика 4 — 288
- комбинированные с переменным передаточным отношением — Характеристика 4 — 288
- трением с переменным передаточным отношением — Характеристика 4 — 288
- Переключатели рубящие 2 — 433
- Переменные комплексные — см. *Комплексные переменные*
- Переменный ток 2 — 339—341, 361, 369, 434
- Перемещение силы параллельное 1 — 356
- Перемещения в балках 3 — 95, 98, 99, 101
- в тонкостенных оболочках 3 — 203
- возможные 1 — 368
- динамические — Измерения 3 — 379, 512; — Электроаппаратура 3 — 380
- единичные упругие — Теорема взаимности 3 — 157
- и усилия консольных круговых брусьев 3 — 153, 154
- кривых брусьев — Вычисление 3 — 115
- при контакте деталей машин — Формулы 3 — 420
- стержневых систем 3 — 151, 155
- угловые — Измерение 3 — 512
- упругие — Измерение 3 — 511
- ферменных конструкций 3 — 155
- Перенапряжения повторные — Прочность 3 — 472
- Пересечение трех прямых 1 — 242
- Перестановки 1 — 79, 115
- Периметры плоских фигур — Вычисление 1 — 106
- Период 2 — 339
- синусоидальной функции 1 — 98
- функции 1 — 92
- Периодическая система элементов 2 — 269, 270
- Периодические функции 1 — 91
- Периодический закон 2 — 269
- Перициклоиды 1 — 281
- Перлит 6 — 104
- Пермаллой 6 — 168
- Перпендикулярность прямых — Условия 1 — 242
- Пески кварцевые 5 — 1
- формовочные 5 — 1
- Пескодупные стержневые машины 5 — 32
- Пескометы 5 — 27, 28, 30
- Песочные фигуры 3 — 383
- Песчано-глинистые смеси — Прочность 5 — 3
- Петрова формула 2 — 470
- Печи — см. по их названиям, например *Высокочастотные печи; Мартеновские печи; Плавильные печи; Пламенные печи; Сталеплавильные печи; Электросталеплавильные печи* и т. д.
- π («пи») — Значение 1 — 63
- Таблицы величин, связанных с π 1 — 6
- π -теорема 2 — 115
- Пик напряжения 3 — 403
- Пикнометры 2 — 13, 15
- Пиломатериалы — Сушка 5 — 628, 629
- Пилы круглые 5 — 340
- Пирамиды 1 — 108
- Пирометры регистрирующие Курнакова 6 — 57
- Пистолеты для сварки винипласта 5 — 605
- Питание газовое 5 — 197
- стальных отливок 5 — 34
- Питатели для консистентной смазки — двухлинейные регулируемые 4 — 715, 716
- Питательная вода 2 — 195
- Питч 4 — 295
- Пифагора теорема 1 — 103
- «Пивяки» магнитные 6 — 74
- Плавание тела 2 — 459
- Плавильные печи для цветных сплавов 5 — 56, 59
- для чугуна 5 — 40

- Плавка ковкого чугуна 5—45; — Дуплекс-процесс 5—47
- ковкого чугуна в вагранках 5—46
- стали 5—51
- Плавка чугуна 5—40
- в вагранках 5—40; — Физико-химические особенности 5—42
- в пламенных печах 5—44
- в электрических печах 5—44
- Плавающие предохранители 2—433
- Плакировка стальной основы металло-керамических фрикционных изделий 5—265
- Пламенные печи — Конструкция 5—44
- Характеристика 5—44, 59
- Пламя ацетиленовое 5—199
- ацетилено-кислородное 5—199, 200
- Планиметры 1—342
- Планка постоянная 2—153
- Пластики регулировочные направляющих 1—410
- сварных ферм — Прочность 4—689
- Пластикат полихлорвиниловый 6—350
- Пластины — Колебания собственные — Частота 3—375
- Нагрузки предельные — Определение 3—284
- Напряжения — Формулы 3—300
- Несущая способность 3—284
- Обтекание 2—511
- Ползучесть установившаяся 3—300
- Расчет на изгиб 3—191
- Расчет на устойчивость в пределах упругости 3—198
- Расчет на устойчивость за пределами упругости 3—201
- Пластины гибкие — Расчет 3—196
- для резцов — Заделка 5—297
- из быстрорежущей стали 5—298
- жесткие — Расчет 3—191
- зашпленные — Нагрузка предельная 3—284
- квадратные — Расчет 3—192
- квадратные опертые — Нагрузка предельная 3—286
- кольцевые — Нагрузка предельная 3—285
- консольные переменного сечения — Формы колебаний типичные 3—340
- круглые — Расчет 3—193—195; — Расчет на устойчивость 3—201
- опертые — Нагрузка предельная 3—284
- опорные для установки заготовок 5—480
- подкрепленные после потери устойчивости — Коэффициент редуцированный 3—201
- произвольной формы зашпленные по контуру под действием сосредоточенной силы — Нагрузки предельные 3—286
- прямоугольные 3—201, 202; — Расчет 3—191—193, 197—201
- с боковыми вырезами и отверстием растянутые в условиях пластичности — Эпюры напряжений 3—283
- с отверстием растягиваемые — Коэффициент концентрации — Формулы расчетные 3—404, 408
- сплошные постоянной толщины — Нагрузка — Расчетные формулы 3—284
- твердосплавные 5—281, 664, 665
- тонкие 3—191
- Пластины — Безразмерная температура 2—132; — Расчет 2—129, 131; 3—303, 304
- прямоугольные 3—458
- Пластичность 3—17, 19
- стали 5—668, 669
- стальных поковок 5—695
- стыкового соединения 6—41
- Пластмассы 6—337
- Армирование 5—591
- Клепка 5—605
- Склеивание 5—602
- Удельное рассеяние энергии при колебаниях 3—351
- Пластмассы древесностолстые 6—342; — Применение для подшипников скольжения 4—278
- композиционные 6—338, 341
- конструкционное — Резание 5—606; — Токарная обработка 5—615
- листовые 6—342
- слоистые 6—341; — Сверление 5—606; — Фрезерование 5—611
- Платина — Электрическое сопротивление 2—5, 6
- Плашки 5—353, 358
- Зубья рабочие — Число 5—360
- Плашки накатные 5—578, 579, 580
- для дюймовой резьбы 5—580—582
- для метрической резьбы 5—580
- плоские 5—580
- с длинной профилирующей частью 5—581, 582
- цилиндрические 5—579
- Плексиглас — Прочность механическая — Характеристика 3—431
- Пленочные фотокамеры 2—247
- Плитки — Проверка — Схема 4—44; — Срединные размеры — Интерференционные методы измерения 4—21, 22

- кислотоупорные 6 — 381
- плоскопараллельные концевые 4 — 6, 7
- Плиты круглые** 3 — 197
- Плоские кривые** 1 — 258
- Плоско-клиноремные передачи** 4 — 483
- Плоскопараллельность** — Интерференционные методы измерений 4 — 21
- поверхностей — Определение 4 — 37
- Плоскоремные передачи** — Кинематика 4 — 460, 463
- Плоскости** — Движение по плоскости — Образование линий 1 — 271
- деталей машин — Конструкции — Выбор 5 — 552
- нормальные к пространственной кривой 1 — 283
- параллельные — Уравнения 1 — 256
- пересекающиеся — Уравнения 1 — 256
- разъема в корпусных деталях — Обработка 5 — 551
- соприкасающиеся 1 — 284
- спрямляющие 1 — 284
- Плоскостность** — Измерение 4 — 21, 32, 49
- малых доведенных поверхностей 4 — 32
- поверочных линеек 4 — 32
- резания 5 — 269
- сдвига 5 — 272
- скалывания 5 — 272
- Плотность** 2 — 449
- органических соединений 2 — 297
- полусферического излучения 2 — 153
- теплового потока 2 — 116, 138
- элементов и их соединений 2 — 282
- Площади сечений** 3 — 40
- валов, ослабленных пазами 4 — 135, 136
- Площади фигур** 1 — 106, 189, 190
- Площадки контакта** — Размеры 3 — 419, 420
- Плунжерные насосы** 4 — 703, 710, 711
- Пневматические прессы с качающимся цилиндром** 1 — 488
- Пневматические приборы** 4 — 23—25, 30
- Пневмокамеры** 5 — 486
- Пневмоэлектрический автомат для контроля поршневых колец** 4 — 41
- Проверка гладких калибров** 4 — 45
- плиток плоскопараллельных концевых — Схема 4 — 44
- резьбовых калибров 4 — 47
- штиховых мер — Схема 4 — 44
- Проверочная схема общезаводская** 4 — 43
- Поверочные линейки** — Типы 4 — 31, 32
- Поверхности** 1 — 293—297; 4 — 21, 32, 34—36, 52; 5 — 274, 424, 717, 734, 737, 738
- винтовые 1 — 298, 299
- вращения 1 — 298; 5 — 556, 571
- второго порядка 1 — 255
- деталей машин 4 — 51
- деталей штампуемых 5 — 164
- конические 1 — 298
- криволинейные 5 — 135
- кривые 1 — 190
- линейчатые 1 — 298
- металлические 5 — 209, 408
- наклепанные дробью — Микрогеометрия 5 — 587
- обработанные — Качество 5 — 275
- однородные — Центр тяжести 1 — 359
- развертывающиеся 1 — 297
- рифленые — Накатывание 5 — 583
- сопрягаемые в отливках — Радиус скругления 5 — 82
- тел — Вычисление 1 — 108
- тел вращения 1 — 111, 190
- теплообменников 2 — 168
- торцевые — Обработка — Допускаемые отклонения 5 — 251
- уровня 1 — 231
- фасонные 5 — 553
- центральные 1 — 256
- цилиндрические 1 — 298
- шлифованные — Микрогеометрия 3 — 404
- эвольвентные винтовые 1 — 299
- электрополированные 5 — 637
- Поверхностная закалка** 5 — 675—678
- Поверхностное натяжение для различных сред** 2 — 454
- Поглощение звука** 2 — 259
- Пограничный слой** 2 — 517
- Погрешности** — Рассеивание 5 — 432
- базирования 5 — 433, 434, 443
- закрепления заготовок при установке на станках 5 — 447, 448
- обработки 5 — 431
- остаточные 1 — 331
- при резании металлов 5 — 435, 438
- при шлифовании 5 — 405
- приближенных чисел 1 — 65
- формы 5 — 432
- Погрешность измерения** 4 — 5
- кинематическая зубчатых колес 4 — 296
- межосевого угла конических зубчатых передач предельная 4 — 316
- показаний 4 — 4, 5
- Погрешность предельная** 1 — 65
- средняя квадратическая 1 — 305
- тензометров 3 — 490

- Податливость валов 3 — 355
 — опор 3 — 372
 — ременных передач 3 — 357
 — стержней призматических 3 — 357
 — фланцевых соединений 3 — 356
 Подачи 5 — 270; — Средние величины при обработке стали резцами 5 — 305, 306
 — на зуб при фрезеровании 5 — 346, 347
 — при зубонарезании 5 — 391
 — при накатывании резьбы 5 — 577
 — при обточке 5 — 306
 — при развертывании 5 — 335
 — при растачивании 5 — 305
 — при расточке 5 — 318
 — при сверлении — Определение 5 — 324
 — при фрезеровании 5 — 350, 362
 — при электроискровой обработке 5 — 656, 657
 Подбор пружин растяжения — сжатия 4 — 627
 Подвеска крюков и скоб 4 — 783, 784
 Подвижные жесткие муфты 4 — 183
 Подкасательные 1 — 260
 Подналадчики к станкам для контроля в процессе обработки 4 — 42
 Поднормали 1 — 260
 Подобие геометрическое 3 — 387
 Подобия закон 2 — 516
 Подстановки Эйлера 1 — 160
 Подточка ленточки на сверлах 5 — 324
 — сердцевин и поперечной кромки у сверл 5 — 324
 Подходящие дроби — Выключение 1 — 72
 Подшипники 4 — 226—283; 5 — 506, 510, 511; — Момент трения 1 — 437
 — жидкостного трения — Расчет 4 — 259, 264
 — жидкостного трения паровой турбины — Конструкция 4 — 270
 Подшипники качения 4 — 226
 — Выбор 4 — 238—242
 — Выбор смазок 4 — 250
 — Зазоры 4 — 227
 — Класс точности — Выбор 4 — 253
 — Кольца — Деформации 4 — 227
 — Коэффициент работоспособности 4 — 243
 — Места посадки — Чистота обработки 4 — 234
 — Нагрузки допускаемые статические 4 — 243—250
 — Напряжения контактные — Расчетные формулы 4 — 226
 — Осевая игра — Соотношение с зазором 4 — 230
 — Посадки 4 — 232—234
 — Расчетная долговечность 4 — 239
 — Технические характеристики 4 — 243
 — Узлы — Монтажные требования 4 — 257
 — — Проектирование 4 — 253
 — Уплотнения 4 — 251, 252
 — Числа оборотов допустимые 4 — 243—250
 Подшипники качения радиально-упорные — Установка с регулированием осевого зазора 4 — 257
 — роликовые 4 — 245, 246; — Коэффициент трения 4 — 250; — Посадки 4 — 235—237; — Расчетные формулы 4 — 229
 Подшипники качения шариковые — Габаритные размеры 4 — 243—250
 — Зазоры начальные 4 — 231
 — Игра осевая 4 — 232
 — Коэффициент трения 4 — 40
 — Посадки 4 — 235, 236, 237
 Подшипники пористые 5 — 265; 6 — 319
 Подшипники скольжения — Вкладыши — Форма 4 — 273
 — График грузоподъемности 4 — 261
 — Грузоподъемность — Влияние обработки 4 — 266
 — Зазоры относительные 4 — 273
 — Заливка антифрикционная — Толщина слоя 4 — 274, 275
 — Параметры конструктивные 4 — 273
 — Применение 4 — 275
 — Расточка — Форма 4 — 273
 — Режимы трения 4 — 258
 — Смазка — Подача 4 — 274
 — Эксплуатация 4 — 280
 Подшипники скольжения из древесной пресскрошки 4 — 279
 — металлические — Конструкция 4 — 267
 — металлокерамические 4 — 277
 — наборные — Конструкция 4 — 281
 — направляющие гидротурбины — Конструкция 4 — 282
 — пластмассовые 4 — 279, 280
 — пористые железграфитовые 4 — 277
 — радиальные 4 — 265, 267
 — резиновые 4 — 281, 282
 — сегментные 4 — 266—270
 — текстолитовые 4 — 278
 Подъемная сила профиля крыла 2 — 527
 Показательные уравнения 1 — 121
 Показательные функции 1 — 91, 195, 302
 — Таблицы 1 — 52
 Поковки — Выход годного 5 — 109
 — Отходы на угар и обсека 5 — 108

- Охлаждение 5 — 102
- Припуски 5 — 96
- Радиусы закругления 5 — 96
- Штамповка 5 — 94, 96, 97, 99
- Покówki из графитизированной стали** 6 — 243
 - из углеродистой стали 6 — 140
 - изготовленные на ковочных вальцах 5 — 132
 - изготовленные на ротационно-ковочной машине 5 — 131
 - стальные — Механические свойства 5 — 672; — Штамповочные уклоны 5 — 95
 - штампованные — Правка 5 — 133
 - штампуемые на гидравлических прессах 5 — 127, 128
- Покой жидкости относительный** 2 — 460, 461
- Покрýтия** 5 — 714, 745
 - влаготойкие для датчиков 5 —
 - гальванические — см. *Гальванические покрытия*
 - для изложниц 5 — 67
 - для литейных металлических форм — Составы 5 — 61, 62
 - лаковые для исследования деформаций — Характеристика 5 — 515
- Поле асинхронных двигателей трехфазных вращающегося** 2 — 394
 - векторное 1 — 231—234
 - допуска 4 — 3, 60
 - изоклин 3 — 525
 - направлений 1 — 211
 - напряжений 3 — 19
 - рассеяния 4 — 60
 - скалярное 1 — 230
 - соленоидальное 1 — 234
- Полевые лучи** 2 — 234
- Ползуны кривошипно-кулисных механизмов** 1 — 483
 - кривошипно-шатунных механизмов 1 — 490
- Ползучесть** — Гипотеза 3 — 289
 - Испытание 6 — 24
 - Кривая 3 — 289
 - Модуль 3 — 305
 - Теория Работнова 3 — 292
- Ползучесть брусев установившаяся** 3 — 295
 - вращающихся дисков 3 — 300—302
 - материалов — Характеристика 3 — 290
 - пластинок установившаяся 3 — 300 при неодносном напряженном состоянии 3 — 294
 - при одноосном растяжении 3 — 289
 - стали — Характеристика 3 — 290
 - тонкостенных трубок 3 — 299
- Полиамиды** 6 — 350
- Поливинилбутираль** 6 — 350
- Полигармонические силы** 3 — 347
- Полигоны распределения** 1 — 325
- Полиметилакрилатные порошки** 6 — 350
- Полиномы Чебышева** 1 — 224
- Полировальные круги** 5 — 403
- Полирование оргстекла** 5 — 616
- Полнруемость металлов и сплавов** 5 — 639
- Полистиролы** 6 — 350
- Политропа — Построение** 2 — 50
- Политропический процесс** 2 — 48, 50
- Полихлорвиниловые материалы — Сварка** 3 — 604
- Полные дифференциалы** 1 — 144, 145
- Полодин** 1 — 271
- Положительные числа — Действия** 1 — 63
- Полосы — Коэффициент концентрации — Графики** 3 — 408—412
 - Опрокидывание при изгибе 3 — 326—327
 - Предел выносливости — Влияние развальцовки 3 — 472
- Полосы асбестовые** 6 — 367
 - из никелевых сплавов 6 — 280
 - из термоэлектродных сплавов 6 — 285
 - изгибаемые 3 — 326
 - изгибаемые биметаллические — Расчет 3 — 95
 - консольные при поперечном изгибе — Коэффициент устойчивости 3 — 327
 - криволинейные 3 — 330
 - с опертými или защемленными концами 3 — 328
 - с отверстием растягиваемые — Коэффициент концентрации — Формулы расчетные 3 — 404
 - тонкие — Жесткость обобщенная 3 — 298; — Момент сопротивления кручению обобщенный 3 — 298
- Полотно армированное** 6 — 370
- Полуавтоматы токарные для обработки зубчатых колес** 5 — 521, 522
- Полуахроматы** 2 — 243
- Полукруг — Геометрические характеристики** 3 — 42
 - Момент инерции 2 — 458
 - Центр изгиба 3 — 102
 - Центр тяжести 2 — 458
- Полутомпак** 6 — 251
- Полуфабрикаты из металлов и сплавов** 6 — 253, 256, 257, 262, 267, 280, 285, 297, 306—308
- Полос однозначной функции** 1 — 199
- Полякова резцы** 5 — 300
- Поляра ударная** 2 — 524
- Поляризаторы** 3 — 522

- Поляризационно-оптические исследования** 3 — 519
- Поляриметры координатно-синхронные** 3 — 522
- Полярископы** 3 — 522
- Поляризация света** 2 — 227
- элемента 2 — 356
- Полярные координаты** 1 — 239
- Полярные отрезки** 1 — 260
- Понижение шума** 2 — 266
- Пономарева метод** 3 — 248
- Понтоны** — Объем 1 — 109
- Поправки для квадратического интерполирования** 1 — 36
- интерполяционные 1 — 32
- Пористость металлокерамических изделий** — Контроль 5 — 266
- Порог слышимости** 2 — 256
- чувствительности 4 — 4
- Пороги водосливов** 2 — 484
- Порошки абразивные для доводки** — Маркировка 5 — 417
- железные 5 — 257, 259
- магнитные 6 — 74
- металлические 5 — 255—258
- металлические дисперсные 5 — 663
- металлокерамические 5 — 260, 261
- цветных металлов 5 — 258
- шлифованные 5 — 395
- Поршневые кольца** — Хромирование пористое 5 — 725
- Поршневые манометры** 2 — 11
- Поршневые пальцы кривошипно-шатунных механизмов** 4 — 489
- полые — Диаметры 4 — 490
- Поршни** — Подгонка по весу 5 — 565
- с равномерно распределенной нагрузкой — Пример расчета 3 — 195
- Посадки** 4 — 1, 3
- Зазоры 4 — 103
- Натяги 4 — 103
- Посадки** $\frac{A_{Ш1}}{T_1}$ 4 — 509
- $\frac{A_{Ш1}}{T_2}$ 4 — 510
- $\frac{A_{Ш2}}{T_1}$ 4 — 510
- $\frac{A_{Ш3}}{T_3}$ 4 — 508
- $\frac{A_{Ш}}{T}$ 4 — 511
- **ВШ**
- в системе вала 4 — 90
- в системе ОСТ для диаметров от 0,1 до 10 000 мм 4 — 84
- 2-го класса точности ОСТ в системе отверстий — Схемы расположения полей допусков 4 — 83
- для древесины 5 — 619, 621
- зубчатых колес на валы 4 — 354
- и допуски — Графическое изображение 4 — 3
- колец подшипников качения 4 — 232
- комбинированные 4 — 94, 100
- конических соединений 4 — 115
- неподвижные 4 — 115
- переходные 4 — 95, 99
- переходные для диаметров от 0,1 до 1 мм — Отклонения для валов 4 — 97; — Отклонения отверстий 4 — 98
- переходные для диаметров от 1000 до 1250 мм — Схемы 4 — 96
- переходные для диаметров свыше 500 до 10 000 мм — Отклонения валов 4 — 100; — Отклонения отверстий 4 — 102
- переходные и свободные — Отклонения для валов диаметром от 1 до 500 мм 4 — 91
- по системе ОСТ — Обозначения 4 — 89
- подшипников качения 4 — 232
- Посадки пресовые** — Отклонения валов и отверстий для диаметров от 1 до 500 мм 4 — 89, 90, 94, 95; — Прочность 4 — 126, 127; — Расчет 3 — 220, 227
- в системе отверстий для диаметров от 1000 до 1200 мм — Схемы 4 — 96
- для диаметров от 0,1 до 1 мм — Отклонения для валов 4 — 97; — Отклонения отверстий 4 — 98
- для диаметров свыше 500 до 10 000 мм — Отклонения валов 4 — 101
- конические — Расчет 4 — 115
- Посадки роликоподшипников качения в корпус** 4 — 235, 237
- с большими зазорами при малых допусках на диаметры валов и отверстий 4 — 94
- свободные 4 — 88, 115; — Применение 4 — 90, 93
- скольжения 4 — 83, 115
- стальных бандажей зубчатых колес на чугунные центры — Рекомендуемые натяги 4 — 353
- шарикоподшипников 4 — 235, 236, 237
- шпилек в корпус 4 — 540
- Посадочные места подшипников качения** — Соосность 4 — 254
- Последовательное соединение источников энергии** 2 — 338
- конденсаторов 2 — 331

- приемников энергии 2—338
- сопротивлений 2—340
- Последовательность числовая** 1—134
- Постоянная Больцмана** 2—153
- Планка 2—153
- решеток чистых металлов 2—319
- Эйлера 1—135
- Постоянные величины** 1—6
- Постоянный ток** 2—338
- Контакторы 2—434
- Потенциалы сверла** 1—234
- ионизации 2—273, 278
- нормальные чистых металлов 2—318
- скоростей комплексные 2—507
- термодинамические 2—43
- электрического поля 2—330
- Потенциальная энергия** 1—367
- Потенциальное движение** 2—507
- жидкости 2—506
- Потенциометры** — Частота 3—497
- Потенцирование** 1—78
- Потери в механизмах** 1—429
- в тройниках 2—487
- во фрикционных передачах 4—448
- кинетической энергии на удар — Теорема 2—506
- на гистерезис 2—335
- напора 2—467
- напора в трубопроводах 2—171, 465, 485
- работы вследствие необратимости 2—42
- Поток** — Коэффициент кинетической энергии 2—463; — Сила действия на граничные стенки 2—500
- вектора напряженности поля 2—330
- вектора скорости 2—504
- векторного поля 1—232
- газовый — Смещение 2—46
- газовый звуковой — Определение числа M 2—526
- газовый сверхзвуковой — Определение числа M 2—526
- жидкости — Уравнение неразрывности 2—463—465
- ламинарный 2—467—469
- лучистый 2—153
- магнитный 2—332
- реальной жидкости 2—463—465
- тепловой — Плотность 2—116, 138
- турбулентный 2—467
- циркуляционный — Обтекание цилиндра 2—509, 510
- Потокоосцепление** 2—333
- Поточная сборка** 5—750
- Правило Верещагина** 3—152
- Гюльдена 1—111
- Жуковского — Грюэ 1—399
- левой руки 2—332
- правой руки 2—333
- Правка** 5—142
- деталей машин холодная 5—565
- заготовок холодная 5—565
- при скоростном наружном шлифовании — Режимы 5—411
- прокатной стали 5—234
- шлифовальных кругов 5—407
- штампованных поковок 5—133
- Правдтя критерий физических свойств** 2—140
- Предел выносливости** 6—21; — Влияние абсолютных размеров сечения 3—451
- Влияние азотирования 3—469, 470
- Влияние наклепа 3—470
- Влияние поверхностной обработки в условиях коррозии 3—466, 467
- Влияние поверхностных покрытий 3—466
- Влияние химико-термической обработки 3—469
- Предел выносливости алюминиевых сплавов** 3—431
- волокнита 3—431
- гетинакса 3—431
- дельта-древесины 3—431
- легких сплавов 3—462
- магниевых сплавов 3—431
- плексигласа 3—431
- сварных соединений 4—665; 4—162
- стали 3—429, 433, 449, 469; 4—162; 6—208
- стали для зубчатых колес 4—358
- текстолита 3—431
- чугуна 3—430; — Влияние закалики токами высокой частоты 3—469
- Предел ползучести стали** 3—433; 6—24
- Предел пропорциональности** 6—6, 11, 331
- Предел прочности алюминиевых сплавов** 3—431
- волокнита 3—431
- гетинакса 3—431
- дельта-древесины 3—431
- древесины 6—331
- инструментальных материалов 5—279
- магниевых сплавов 3—431
- плексигласа 3—431
- при кручении 6—11
- при растяжении 6—6
- стали 3—429, 430, 432, 433
- статический длительный 3—432
- стекла 3—431

- текстолита 3 — 431
- фибры 3 — 431
- целлулоида 3 — 431
- чугуна 3 — 430
- Предел текучести** 6 — 6
 - легких сплавов 3 — 429
 - при изгибе 6 — 9
 - при кручении 6 — 11
 - стали 3 — 429, 430, 432
- Предел упругости** 3 — 13; 6 — 6
 - усталости стали 3 — 433
 - функции 1 — 134
 - числовой последовательности 1 — 134
- Предельная теорема** 1 — 328
- Предельные погрешности** 1 — 65
- Предельные размеры** — **Определение** 4 — 2
- Пределы** — **Теоремы** 1 — 135
 - определенного интеграла 1 — 172
 - последовательности — **Признаки существования** 1 — 135
- Предохранители от перегрузки** 4 — 216 см. также *Муфты предохранительные*
- Предохранители от перегрузки ломающиеся** 4 — 218
 - с разрушающимся элементом 4 — 219
 - фрикционные 4 — 220
- Предохранители плавкие** 2 — 433
 - пружинные 4 — 222
 - тяговые — **Конструкции** 4 — 224
- Предохранительные клапаны** 4 — 713, 715
- Преобразование координат** 1 — 239, 250
- Преобразование уравнения параболоида к каноническому виду** 1 — 257
 - параболы 1 — 248
 - центральной поверхности к каноническому виду 1 — 256
 - центральных линий к каноническому виду 1 — 248
- Преобразования лапласовы** — **Таблица** 1 — 219
- Преобразователи сварочные** 5 — 180
 - частоты — **Определение** 2 — 378
- Пресскрошка древесная** — **Применение для подшипников скольжения** 4 — 279
- Пресс-масленки клапанные** 4 — 709
 - под запрессовку — **Размеры** 4 — 698
- Прессование металлокерамических изделий** 5 — 262, 263
 - металлокерамических порошков — **Давление** 5 — 260, 261
 - пластмассовых деталей машин — **Способы** 5 — 594, 595
- Прессформы** — **Выбор типа** 5 — 596; — **Заливка восковым сплавом** 5 — 71, 72; — **Элементы формирующие** — **Размеры** 5 — 592, 593
 - для литья стали 6 — 163
 - для металлокерамических изделий — **Проектирование** 5 — 261
 - для прессования хомутиков разъемные 5 — 261
 - клиновые 5 — 595
 - компрессионного прессования 5 — 595
 - литевые 5 — 597
 - с дозировкой порошка для двустороннего прессования 5 — 262
 - стационарные 5 — 597
 - съемные 5 — 596
- Прессшпан** — **Сверление** 5 — 610
- Прессы Гагарина** 6 — 2
 - ковочные гидравлические 5 — 103, 105; — **Производительность** 5 — 106
 - кривошипные горячештамповочные 5 — 119
 - механические для металлокерамического производства 5 — 260
 - пневматические с качающимся цилиндром 1 — 488
 - правильно-гибочные 5 — 235
 - сварочные 5 — 195
 - фрикционные винтовые 5 — 126, 127
 - чеканочные кривошипно-коленные 5 — 134
- Прецедия регулярная** 1 — 399
 - синхронная 3 — 374
- Прецизионное литье** 5 — 71
- Приближенные вычисления без точного учета погрешностей** 1 — 67
- Приближенные числа** 1 — 65
- Прибор Николаева для определения твердости** 6 — 18
- Приборы** 4 — 13, 16, 23, 25, 26, 27, 29, 30, 31 — см. также по их названиям: *Зубчатые приборы*; *Ионные приборы*; *Пневматические приборы*; *Рычажно-зубчатые приборы*; *Рычажно-микрометрические приборы*; *Рычажно-оптические приборы*; *Электроиндуктивные приборы*
- Приборы для измерения давления** 2 — 10, 455 — см. также *Вакуумметры жидкостные*; *Дифманометры жидкостные*; *Жидкостные приборы для измерения давления*; *Манометры*; *Микроманометры*
 - деформаций 2 — 490
 - перемещений — **Характеристика** 2 — 511
 - сил резания 5 — 287

- Приборы для контроля пористости металлокерамических изделий магнитные** 5—266
- для утряски металлических порошков 5—256
 - математические 1—336—348
 - пружинные 4—16, 23, 29, 3
 - рычажные 4—13, 27
- Прибыли закрытые** 5—35
- Приводы гидравлические** 6—4
- клапанов арматуры трубопроводов 4—748
- Приемники электрической энергии — Напряжения номинальные** 2—380
- Призматоиды** 1—108
- Призмы** 1—108; — Крепление 2—238; — Прохождение луча 2—230
- для установки заготовок 5—480, 481
 - отражательные 2—234, 235
- Признак Вейерштрасса** 1—177
- Даламбера 1—150
 - Ермакова 1—150
 - Коши 1—149, 150, 176
 - Лейбница 1—150
 - сходимости рядов 1—149, 150
 - тензорной системы величин a_{ij} 1—236
- Приливы в отливках** 5—85
- Принцип Даламбера** 1—387, 391
- Остроградского — Гамильтона 1—392
 - Римана — Шварца 1—205
 - возможных перемещений 1—368
 - возможных перемещений для удара 1—403
 - сложения действия сил 3—157
- Припои** 5—211; 6—273—276
- Припуски в моделях на усадку отливок** 5—21
- и допуски на штампованные детали при калибровке 5—135
 - на механическую обработку деталей машин — Расчет 5—439, 440
 - на механическую обработку сопряженных отверстий 5—84
 - на обработку деталей из древесины 5—630
 - на обработку заготовок из проката 5—447, 449—456
 - на обработку кованных и штампованных заготовок 5—447, 457—470
 - на обработку литых заготовок 5—447, 471—473
 - на обработку отверстий 5—447, 474—476
 - на обработку протяжками 5—368
 - на обработку строительных, котельных и резервуарных конструкций 5—239
 - на обработку шеек ступенчатого вала 5—447—479
 - на притирочное шлифование 5—422
 - промежуточные — Определение 5—439; — Расчет 5—441, 442
 - симметричные 5—440
- Припылы** 5—17
- Приращения конечные** 1—141
- для функции нескольких переменных 1—145
- Природный газ** 2—192
- Присадки к смазочным материалам** 2—223
- Присадки к чугуну** 5—49
- Приспособления для консольной обработки конусных отверстий** 5—551
- для механической обработки деталей машин 5—479, 492
 - для подшипниковых вкладышей при заливке 5—511
 - для правки шлифовальных кругов 5—407, 408
 - для установки деталей на станках 5—583
 - для фрезерования торцов рычагов 5—539
 - контрольные 4—38
 - пневматические автоматизированные 5—489
 - сборочные 5—244, 759
- Притирка зубчатых цилиндрических колес** 5—520
- Притирочно-шлифовальные станки** 5—422
- Притирочное шлифование** 5—420, 421, 422
- Притиры** 5—416, 418
- Пробивка** 5—140, 153
- отверстий штампами — Размеры минимальные 5—152, 153
- Пробки** 4—107, 108, 109
- Провода многожильные** 2—347
- обмоточные 2—348, 349, 350
 - с винилитовой изоляцией 2—344
 - с резиновой изоляцией 2—344, 346, 351
- Проводимость** 2—340
- электролитов удельная 2—355
- Проводки** 2—350
- в стальных трубах 2—352
- Проводниковые материалы** 2—343
- Температура плавления 2—9
 - Термоэлектродвижущая сила 2—9
- Проволока** 6—194, 195, 196; — Испытания 6—44; — Механические свойства 4—616, 617

- калиброванная для холодной высадки 5 — 162, 163
- стальная 6 — 140, 146
- электродная 5 — 184, 185
- Проволочка аттестованная** — Применение для измерения отверстий 4 — 112
- Проволочные датчики** 3 — 500, 505
- Проволочные тензодатчики** 3 — 493, 508
- Прогреты балок** 3 — 69, 96, 97, 105, 124, 272, 273, 275
- брусев изогнутых 3 — 295
- рессор 4 — 654
- упругой системы динамические 3 — 391
- Прогрессия** 1 — 80, 81
- Продукты горения** — Диссоциация 2 — 175
- Теплосодержание 2 — 173
- Проективные шкалы** 1 — 314
- Проектирование подшипниковых узлов** 4 — 253
- Проекторы** 2 — 250; 4 — 18, 28
- Проекция** 1 — 104
- векторные 1 — 227
- Проекционно-поляризационные установки** 3 — 522
- Прозрачность воды** 2 — 193
- Произведение векторов** 1 — 228, 229
- Производные функций** 1 — 137, 138, 145
- Проклаиваемость стали** 5 — 694; 6 — 37, 111, 122
- Прокат** 5 — 114
- Прокатка стали холодная** — Влияние на механические свойства 5 — 668
- Прокладки** 4 — 723, 742
- амортизационные акустические 2 — 267
- асбестовые 6 — 367, 370
- для трубопроводной арматуры 4 — 737
- уплотнительные 4 — 722
- Промывка деталей** 5 — 752
- Проницаемость магнитная** 2 — 332
- триода 2 — 362
- Пропан** 2 — 33, 97, 102; 5 — 198
- Пропен** — см. *Пропилен*
- Пропилен** — Свойства 2 — 35, 97
- Пропорции** 1 — 82
- Пропорциональные части для линейной интерполяции** 1 — 35
- Просечка** 5 — 140
- Простейшие функции** 1 — 301
- Пространственные кривые** 1 — 282—285, 288
- Пространственный заряд** 2 — 380
- Простые дроби** 1 — 62
- Обращения в десятичные 1 — 64
- Противоогарные средства** 5 — 17
- Протоны** 2 — 271
- Проточки для соединений** 4 — 725
- Протягивание** — Время основное 5 — 374
- Охлаждение 5 — 372
- Режимы резания 5 — 372
- Сила резания 5 — 373
- Схема резания 5 — 365
- Протягивание внутренней поверхности вкладышей** 5 — 515
- стыковых поверхностей подшипниковых вкладышей 5 — 509
- Протяжка** 5 — 111, 146
- Протяжки** 5 — 365, 366
- для координатного протягивания 5 — 369
- Профили вневцентренно сжатые** 3 — 185, 186
- замкнутые тонкостенные 3 — 297
- конических резьб 4 — 520
- корытные — Пример определения геометрических характеристик и построения эпюр 3 — 184
- плашек резьбонакатных 5 — 581
- прокатные 6 — 170; — Стесненное кручение 3 — 170
- резьбовых соединений 4 — 498
- резьбы бурильных и насосно-компрессорных труб 4 — 525
- резьбы обсадных труб 4 — 525
- Профили тонкостенные** 3 — 298; — Центр изгиба 3 — 102
- под действием кручения 3 — 407
- Профили тонкостенных стержней** 3 — 169
- Профилирование зубчатого венца** 5 — 374
- зубьев звездочек приводных цепей 4 — 423
- кулачковых механизмов 1 — 518
- равнопрочных дисков 3 — 254
- сплошных дисков 3 — 264
- Профилировка** 5 — 142
- Профилографы** 2 — 251
- Профиль крыла** — Волновое сопротивление 2 — 527; — Подъемная сила 2 — 526
- симметричный Жуковского 2 — 511
- Проходы условные трубопроводной арматуры** 4 — 735, 737
- Проценты** 1 — 84
- Проценты необратимые** 2 — 41
- Прочностной расчет** 3 — 428—487
- Прочность алюминиевых сплавов механическая** 3 — 431
- арматуры трубопроводов 4 — 743
- балок 3 — 86, 89, 106, 107
- бесшпальных соединений 4 — 607
- брусев 3 — 21
- валов 4 — 131, 133, 134, 149, 161, 173
- вибрационная сварных соединений 4 — 665
- винтовых зубчатых передач 4 — 414

- деталей вентилях 4 — 745
 - дисков вращающихся 3 — 246, 258
 - длительная 6 — 24
 - древесины 6 — 331, 334
 - заклепок в плотных швах 4 — 668
 - заклепочных соединений 4 — 669
 - зубчатых конических колес 4 — 365
 - зубчатых передач 4 — 329
 - зубьев зубчатых колес 4 — 343
 - зубьев червячных колес 4 — 412
 - клиновых соединений 4 — 612
 - крепежей удельная 5 — 5
 - легированной стали 3 — 430
 - магниевых сплавов 3 — 431
 - материалов 3 — 429; — Влияние напряженного состояния 3 — 447
 - неметаллических материалов 3 — 431
 - отбеленного чугуна при изгибе 6 — 228
 - песчано-глинистых смесей 5 — 3
 - планок сварных ферм 4 — 689
 - поясных швов сварных балок 4 — 672
 - при контактных напряжениях 3 — 481
 - при кручении 3 — 33
 - при переменных напряжениях 3 — 447
 - при повторных перенапряжениях 3 — 472
 - при статических напряжениях 3 — 434
 - при ударной нагрузке 3 — 481
 - проволоки пружинной 4 — 616
 - протяжек 5 — 367
 - пружин усталостная 4 — 645
 - резьбовых соединений 4 — 525, 533
 - рессор 4 — 655
 - сварных соединений 4 — 660, 663; — Пример расчета 4 — 664
 - сварных соединений при ударе 4 — 666
 - соединений с гарантированным натягом 4 — 125, 126
 - стали 3 — 429, 430; 5 — 668
 - стержней 3 — 23; 4 — 685
 - углеродистой стали 3 — 429
 - усталостная коленчатых валов 4 — 131, 149, 161
 - усталостная пружин 4 — 645
 - усталостная резьбовых деталей 5 — 533
 - чугуна 3 — 430
 - шлифовальных кругов 5 — 413, 414
 - шлицевых соединений 4 — 594
 - шпонок — Расчет 4 — 574
 - электрическая 2 — 330
- Прошивание электроискровым способом**
5 — 658
- Прошивка** 5 — 111, 365, 366, 370, 371
- Пружины** 3 — 331, 354, 355, 398; 4 — 613, 658
- Заневоливание 4 — 641
 - Изображение условное 4 — 816, 819
 - Коэффициент запаса — Расчетные формулы 4 — 646
 - Крепление универсальное 4 — 636
 - Нагрузка кратковременная 4 — 645
 - Напряжения допускаемые 4 — 617, 618
 - Напряжения предельные при асимметричных циклах — Диаграмма 4 — 646, 647
 - Пример выбора 4 — 626
 - Прочность усталостная 4 — 645
- Пружины Бурдона** 3 — 214
- амортизаторов 2 — 266; 4 — 641
 - винтовые многожильные 4 — 648
 - винтовые цилиндрические 3 — 234; 4 — 622—625, 632—635
 - витые 4 — 619—621, 628, 629, 637, 640
 - клапанные 3 — 399, 477; 4 — 647
 - кольцевые 4 — 651, 652
 - конические 4 — 637, 638
 - кручения 4 — 621, 635
 - параболоидные 4 — 637, 638
 - при асимметричных циклах 4 — 646
 - при динамической нагрузке 4 — 644
 - призматические 4 — 621
 - радиально расположенные вращающиеся 3 — 235
 - растяжения 4 — 621, 626, 629
 - растяжения — сжатия 4 — 627, 647
 - сжатия 3 — 330; 4 — 621, 629—632, 636
- Пружины сжатия цилиндрические** —
- Пример расчета 4 — 631
 - заневоленные 4 — 641; — Пример расчета 4 — 643
- Пружины спиральные** 4 — 648—650
- тарельчатые 4 — 651
 - телескопические 4 — 637
 - трубчатые манометрические 3 — 214, 216
 - фасонные 4 — 621
 - фигурные гнутые 4 — 650
- Прутки алюминиевые** 6 — 297
- из термоэлектродных сплавов 6 — 285
- Прямая** — Качение по окружности 1 — 272
- Пересечение с плоскостью 1 — 253
 - Уравнения 1 — 240—242, 252, 253
- Прямолинейность** — Измерение 4 — 32, 49
- поверхностей большой протяженности — Проверка 4 — 33

- Прямоугольники — Геометрические характеристики 3—45
 — Момент инерции 2—458
 — Напряжения и угол закручивания при кручении 3—30, 31
 — Напряжения касательные при изгибе 3—88
 — Статический момент 3—276
 — Центр тяжести 2—458
 Прямоугольники полые — Напряжения и угол закручивания при кручении 3—31
 Прямые — Точки пересечения — Координаты 1—242
 Психрометры 2—112
 Птоломея теорема 1—104
 Пуаз 2—451
 Пуазейля закон 2—467
 Пуансоны 5—163, 168, 171
 — для выдавливания шестигранника 5—172
 — конические — Расчет 5—167
 — со скользящим сердечником 5—176
 Пуассона коэффициент 3—13
 — теорема 1—329
 — уравнение 1—225
 Пульвербакелит 5—6; 6—345
 Пульсирующий цикл переменных напряжений 3—448
 Пуск асинхронных двигателей 2—417
 — двигателя в системе генератор — двигатель 2—426
 — двигателей постоянного тока 2—385
 — синхронных двигателей 2—407, 408
 Пускатели магнитные 2—436
 Пусковые сопротивления 2—433
 — асинхронных двигателей 2—415, 418
 — двигателей постоянного тока — Расчет 2—411, 414
 Пучность колебаний 3—340
 Пучок прямых — Уравнения 1—242
 Пыль угольная — Вес 2—179
 — Теплоемкость 2—189
 Пьезометрический уклон 2—464
 Пьезометры 2—455
- Р**
- Работа 1—366; — Вычисление графическое 1—367; 2—41; — Потери вследствие необратимости 2—42; — Эквивалент, тепловой 2—40
 — излома 6—20
 — электрического тока 2—338
 Работнова гипотеза старения 3—292
 — теория ползучести 3—292
 Рабочие чертежи зубчатых колес 4—354
 — конических косозубых колес 4—362
 — червяков и червячных колес 4—409
 Равнобочные гиперболы 1—246
 Равновесие — Устойчивость 1—368
 — пар 1—356
 — сил, приложенных к твердому телу 1—353
 — систем сочлененных 1—356
 — системы с трением 1—357
 — трех непараллельных сил в плоскости 1—354
 Равномерные шкалы 1—314
 Радиально-кольцевые щели 2—492
 Радиально-сверлильные станки 5—241
 Радиальные щели 2—492
 Радиокерамика 6—382
 Радиус атомный чистых металлов 2—319
 — выемки у резов 5—302
 Радиус кривизны 1—266
 — брусьев 3—287
 — гиперболы 1—245
 — логарифмической спирали 1—267, 276
 — параболы 1—246
 — поверхности 1—296
 — пространственной кривой 1—284
 — спирали Архимеда 1—275
 — циклоиды 1—267
 Радиус-вектор точки 1—228
 Радиусы инерции главные 3—39
 — прокатных профилей 6—174—185
 — сварных сечений 4—666
 — сечений 3—40
 — сечений элементов сварных ферм 4—685
 Радиусы закругления поковок 5—96
 — кручения 1—284
 — сопряжений минимальные при вырубке и пробивке 5—153
 Разброс по тензочувствительности допускаемый 3—494
 Разбрызгиватели смазки 4—707
 Разбухаемость древесины 6—333
 Развертка кривой 1—269
 Развертки 5—278, 332, 333
 Развертывание 5—332, 335, 571
 Развертывающиеся поверхности 1—297
 Разветвленные цепи переменного тока 2—341
 Разгонка 5—111
 Задача по opravке 5—111
 Разложение сил 1—353, 354
 — силы инерции 1—387

- Разложение функций — Случаи специальные 1—307
- в бесконечные ряды 1—151
 - в ряды по бесселевым функциям 1—311
 - в ряды по полиномам Чебышева 1—311
 - в ряды степенные 1—152
 - в ряды Фурье 1—308
- Размагничивание изделий 6—71
- Размерности — Правило 1—382
- Размерность напряжений 3—5
- Размерные цепи 4—58—60
- Задачи 4—55—58
 - Звенья 4—56
 - Координаты середин полей допуска — Расчет 4—70
 - Звенья замыкающие 4—73
 - Звенья компенсирующие 4—72
 - Звенья составляющие 4—66
 - Использование в машиностроении 4—55—78
 - Компенсаторы 4—61
 - Методы решения 4—67
 - Обозначения условные 4—55, 63
 - Применение для расчетов — Примеры 4—74
 - Расчет 4—76
 - Расчетные формулы 4—65, 66
 - Теория 4—66
- Размеры номинальные — Определение 4—2
- предельные — Определение 4—2
- Разметка деталей 5—235
- тяжелого вала по струне 5—503
- Размещения 1—79
- Размолоспособность твердого топлива 2—178
- Разности конечные простейших функций 1—301
- Разностное исчисление 1—301—304
- Разность квадратов 1—74
- кубов 1—74
 - потенциалов 2—331
 - тензоров 1—235
- Разрешающая сила оптических систем 2—234
- Разрубка 5—140
- Разрушение металла импульсным разрядом 5—650
- Разрывные машины 6—1, 4
- Разряд конденсатора 2—331
- Разрядность плоскопараллельных концевых плиток 4—7
- Разрядные сопротивления 2—433
- Разъемные соединения 4—497—573
- Рамзина $i-d$ -диаграмма 2—111
- Рамные конструкции — Перемещения — Определение 3—151
- Рамы — Изгибающие моменты — Эпюры — Построение — Пример 3—159, 167
- однопролетные 3—160
 - плоские 3—150, 159, 165
 - статически неопределимые 3—165
 - статически определимые 3—149
- Раскатка — Схема 5—132
- Раскаточные машины 5—132
- Раскатывание отверстий 5—572
- поверхностей вращения 5—571
- Раскисление стали 5—53
- Раскрой 5—150
- Расплющивание 5—111
- Распределение 1—325, 326
- Стюдента 1—328; — Таблица функции $S(z)$ 1—334
 - вероятности — Дифференциальная функция 1—322
 - скоростей 1—378, 380
 - случайных величин нормальное — График интегральной функции 1—324
 - статистическое 1—325
 - ускорений 1—379, 380
- Рассверливание — Глубина резания 5—325
- Рассеивание погрешностей 5—432
- Рассеяние энергии в материале при колебаниях 3—350, 351
- Расстояние между точками 1—238
- от точки до прямой 1—241
- Растачивание залитого слоя обеих вкладышей 5—509
- Растворители для лакокрасочных материалов 6—393
- Растворы для гальванических покрытий — Составы 5—719
- Расточка 5—314, 318
- подшипников скольжения 4—273
- Растрескивание коррозионное 6—94
- Растяжение 6—1, 5, 23
- балок с изгибом 3—105
 - центральное 3—21
- Расходомеры потоков в трубопроводах 2—494
- Расходомеры-счетчики скоростные 2—496
- Расхождение вектора скорости 2—504
- Расчет за пределами упругости 3—271
- Расчет на прочность 3—428—487
- Расширение газов 2—49
- тепловое 2—15
 - трубопровода внезапно 2—486
- Рациональные функции 1—87, 90, 156
- Рашига кольца 6—381
- Реагенты для очистки воды — Удельный вес 2—203
- Реактивная составляющая тока 2—340
- Реактивные глушители 2—268

- Реакции металлургические сталеварения 5—52
- опорные 1—365; 3—140
- якоря 2—382
- Ребра — Конструирование 5—85; — Коэффициент эффективности 2—128, 129
- жесткости сварных балок 4—679
- Ребро возврата 1—297
- Реверберация 2—262, 263
- Реверс двигателя в системе генератор — двигатель 2—426
- постоянного тока 2—385
- Реверсоры для испытания на растяжение металлокерамических втулок и колец 5—267
- Регенеративные циклы паросиловых установок 2—94
- Регенерация фильтров 2—201, 202
- формовочных земель 5—18
- Регистраторы деформации автоматические электронные 3—492
- Регулирующие клинья направляющих 1—410
- Регулировочные планки направляющих 1—410
- Регулировочные сопротивления 2—433
- Регуляторы сильфонные — Пример расчета на жесткость 3—216
- Редукторы 4—351; 5—199, 217
- Гоммеля 1—508
- Гуляева 1—507
- планетарные 1—504
- фрикционные 4—438
- Редуцирование — Способы 5—174, 175
- стержня — Удельные давления 5—165
- Реечные передачи 1—497
- Режимы азотирования стали 5—687
- бронзирования 5—723
- декапирования 5—720
- доводки 5—419
- дробеструйного наклепа 5—586
- золочения 5—724
- кадмирования 5—722
- контактной сварки 5—196, 197
- латунирования 5—723
- лужения 5—722
- накатывания 5—585
- накатывания резьб 5—577
- никелирования 5—723
- обработки электронным способом 5—660
- обезжиривания 5—720
- оксидирования 5—721
- отжига отливок из серого чугуна 5—702
- правки при шлифовании 5—411
- применения электролитов для полирования 5—638
- работы ванн при гальванических покрытиях 5—719
- Режимы резания анодно-механического стальных заготовок 5—648
- пластмасс 5—608, 610, 611, 613, 614
- при зенкерование 5—331
- при зубонарезании 5—391
- при протягивании 5—372
- при развертывании 5—335
- при сверлении 5—324
- при шевинговании 5—395
- резцами 5—305, 317
- Режимы резбонарезания 5—361
- серебрения 5—723
- сушки пиломатериалов 5—626, 628
- термообработки алюминиевых сплавов 5—711
- термообработки в производстве ферритного ковкого чугуна 5—706
- термообработки конструкционной стали 6—154, 155
- термообработки магниевых сплавов 5—712
- термообработки медных сплавов 5—712
- термообработки постоянных магнитов 6—169
- травления 5—720, 726
- фосфатирования 5—721
- фрезерования 5—347
- хромирования 5—723, 725
- цинкования 5—721
- шлифования — Выбор 5—427
- шлифования отделочного 5—423
- шлифования притирочного 5—421
- электроискровых установок для изготовления полостей и отверстий — Кривые 5—652
- электрополирования 5—639
- Режущие инструменты 5—276; 6—161 — см. также *Зенкеры; Сверла; Фрезы* и т. д.
- Износ 5—275
- Испытания 6—36
- Поверхность передняя — Площадь контакта со срезаемым слоем 5—271
- Подача 5—270
- Стойкость 5—276
- Углы заточки — Определение 5—269
- Химико-термическая обработка 5—286
- Режущие инструменты для обработки отверстий 5—547
- твердосплавные 5—648
- Режущие кромки 5—268
- переходные 5—304
- протяжек 5—372

- Резаки** 5—205, 206
Резание — Скорость 5—270
 — Тепловой баланс 5—274
Резание металлов — Технология 5—268—494
 — пластмасс конструкционных 5—606
 — пластмассовых листов 5—615
Резервуарные конструкции — Сборка 5—246
Резервуары 2—483, 486
 — вертикальные 5—247
Резина 5—603; 6—357
Резка кислородная 5—205, 207
 — прокатной стали 5—238
Резонанс 3—333, 336
 — напряжений 2—340
 — переменного тока 2—341
Резонансная частота 3—362
Резонансное звукопоглощение 2—261
Резонансные числа оборотов турболопато 3—349
Резольвенты 1—120
Резцы 5—287
 — Глубина резания 5—305
 — Износ 5—305
 — Конструкция 5—299
 — Мощность эффективная 5—313
 — Подача 5—305
 — Радиус выемки 5—302
 — Режимы резания 5—305
 — Режущие части — Геометрические параметры 5—301
 — Скорость резания 5—309
 — Стойкость 5—306, 307
 — Типы 5—288
 — Углы 5—269, 302—304
Резцы Борткевича 5—299
 — Калугина 5—300
 — Колесова 5—300
 — Полякова 5—300
 — Рывкина и Самойлова 5—300
 — автоматнo-револьверные 5—293, 295
 — быстрорежущие — Износ 5—277
 — для обработки железокерамических изделий 5—264
 — долбежные — Типы 5—290
 — зуборезные 5—384
 — полуавтоматные — Типы 5—295
 — расточные 5—314, 316, 317
 — резьбовые 5—353, 354
 — строгальные — Типы 5—289, 292
 — твердосплавные — Износ 5—277, 290
 — токарные — Типы 5—288, 290
 — фасонные 5—300, 301 — Установка на станках 5—301
 — ЦНИИТМАШ 5—300
Резьба — Накатывание 5—178, 574—577
- Резьбовые детали** — Конструктивные формы 4—539
 — Прочность усталостная 4—533
Резьбовые изделия — Поверка — Схема 4—47
Резьбовые калибры — Поверка — Схема 4—47
Резьбовые соединения 4—497—573
 — Диаграмма усилий 4—529
 — Допуски и посадки 4—498
 — Затяжка — Выбор величины 4—534
 — Классы точности 4—500
 — Коэффициент нагрузки 4—530
 — Коэффициент податливости 4—530
 — Напряжения допускаемые — Отношение к пределу текучести 4—526
 — Напряжения затяжки — Контроль 4—534
 — Прочность при статических нагрузках 4—530, 532, 533
 — Профили 4—498
 — Расчет на прочность 4—525
 — Расчет поверочный 4—535
 — Расчетная схема 4—529
 — Стандартные элементы 4—544
 — Стопорение 4—535
 — Элементы — Конструктивные формы 4—539
Резьбовые соединения деталей 4—544
 — затянутые 4—529
 — конические 4—519
 — крепежные — Материалы 4—526
 — ответственные — Расчет 4—527
 — цилиндрические 4—497
Резьбонакатные автоматы с плоскими плашками — Параметры 5—582
Резьбонакатные станки — Характеристика 5—582
Резьбонарезание 5—352, 361—363
Резьбонарезные инструменты 5—353, 356 — см. также *Головки резьбонарезные; Гребенки; Метчики; Плашки; Резцы резьбовые; Фрезы резьбовые* и т. д.
 — Зубья рабочие — Число 5—360
 — Износ допускаемый 5—276
 — Параметры геометрические 5—359
 — Скорость резания — Расчетные формулы 5—362, 363
 — Стойкость 5—362, 364
 — Углы 5—360, 361
Резьбы 4—497
 — Диаметр средний приведенный 4—498
 — Изображение и обозначение на чертежах 4—815
 — Конструирование 5—557
 — Накатывание 5—178, 574—577
 — Нарезание — Схема 5—352
 — Фрезерование 5—361, 362

- Элементы — Взаимозависимость 5 — 498
- Резьбы болтов** 5 — 499, 500
- буровых труб 5 — 516
- дюймовые 5 — 512
- Резьбы конические** 4 — 521, 522, 524
- бурильных и насосно-компрессорных труб 4 — 524, 525
- для нефтепромышленности 4 — 524
- дюймовые 4 — 523
- обсадных труб 4 — 524, 525
- трубные 4 — 522, 523
- Резьбы круглые** 4 — 519
- Резьбы метрические** — Высота профиля и зазор 4 — 505
- Диаметры 4 — 502
- Допуски и отклонения для диаметров от 72 до 600 мм 4 — 505
- Допуски на диаметр болта и гайки 4 — 506
- Нарезание 5 — 361
- Размеры и допуски 4 — 501, 503, 504
- Размеры предельные — Пример подсчета 4 — 504
- Шаги 4 — 502
- Резьбы метрические диаметром от 0,3 до 0,9 мм** — Размеры и допуски 4 — 507
- диаметром от 8 до 48 мм тугие — Допуски 4 — 511
- диаметром от 72 до 600 мм — Размеры 4 — 507
- формируемые в пластмассе 5 — 594
- Резьбы прямоугольные** 4 — 517
- трапециoidalные 4 — 515
- трубные конические 4 — 522, 523
- трубные цилиндрические 4 — 513; — Размеры и допуски 4 — 514
- упорные 4 — 517, 518
- цилиндрические специальные 4 — 513
- Рейки исходные зубчатых колес** 4 — 323
- Рейнольдса критерий вязкостно-инерционный** 2 — 140
- число 2 — 467, 485, 517
- Рекристаллизационный отжиг** 5 — 668
- Рекристаллизация** 6 — 111
- Релаксация** 3 — 486
- напряжений 3 — 292
- Реле** — Обозначения в элементных схемах 2 — 437
- времени 2 — 435; 4 — 713, 715
- контроля скорости 2 — 435
- контроля уровня масла в резервуаре поплавковое — Схема 4 — 714
- максимальной защиты 2 — 435
- напряжения 2 — 435
- счета импульсов 2 — 435
- тока 2 — 434
- Релейно-контакторные схемы** — Начертание 2 — 436
- Характеристика 2 — 439
- Рельсы краповые** 4 — 807; 6 — 186
- Ременные передачи** 4 — 453—487 — см. также *Клиноременные передачи; Плоско-клиноременные передачи; Плоскоременные передачи*
- Валы — Давление 4 — 468
- Классификация 4 — 454, 455
- Коэффициент геометрический 4 — 463
- Коэффициент поправочный 4 — 462
- Податливость 3 — 357
- Работоспособность 4 — 461
- Расчет поворочный 4 — 466
- Расчет проектный 4 — 467
- Характеристика 4 — 285
- Шкивы 4 — 474, 475
- Ременные передачи быстходные** 4 — 472
- с натяжными роликами 4 — 470—472
- Реми клиновые** 4 — 477, 478, 481 — 483
- Реми приводные** 4 — 459
- Виды и конструкции 4 — 455
- Выбор 4 — 458
- Долговечность 4 — 463
- Концы — Соединение 4 — 457
- Коэффициент режима и длительности работы 4 — 463
- Механические свойства 4 — 456
- Напряжения 4 — 461
- Натяжение 4 — 458
- Применение 4 — 457
- Размеры 4 — 456, 459
- Усталость 4 — 463
- Ремонт изношенных матриц штампов электроискровым способом** 5 — 663
- Рейкина способ спрямления дуги окружности** 1 — 282
- Рентгеновские аппараты для дефектоскопии** 6 — 75
- Рентгенографирование** 6 — 79
- Реостаты** 2 — 433
- Рессорные ушки** — Типы 4 — 655
- Рессоры** 4 — 613—658
- Коэффициент деформации 4 — 656
- Крепление 4 — 655
- Напряжения допускаемые 4 — 656
- Прогибы 4 — 654, 656
- Расчет 4 — 655
- Трение 4 — 657
- Рессоры автомобильные** — Напряжения допускаемые 4 — 656
- буферные — Напряжения допускаемые 4 — 656
- «идеальные» 4 — 655

- листовые 4—653, 656, 657
- паровозные — Напряжения допускаемые 4—656
- реальные 4—656
- Решение треугольников 1—102, 112—114
- уравнений 1—115—133
- Решетки ионные кристаллические — Энергия 2—294
- Решетчатые конструкции — Сборка по копиру 5—245
- Рикката уравнение 1—208
- Римана — Шварца принцип симметрии 1—205
- Рифление — Накатывание — Типы 5—584
- Роберта — Чебышева теорема 1—461
- Родиевые покрытия 5—715
- Розе сплавы 6—275
- Ролики для накатывания клейма 5—584
- для обкатывания поверхностей 5—571, 572
- накатные 5—584
- профильные для правки шлифовальных кругов — Заготовка — Размеры 5—410
- Роликовые контактные машины — Характеристика 5—195
- Ролля теорема 1—141
- Ромбы — Площадь 1—106
- Ротаметры 4—25
- Ротационно-ковочные машины 5—129
- Ротор вектора 1—233
- Роторы — Момент инерции — Определение 3—359
- Рототролы 2—388
- Ртутно-водяные циклы паросиловых установок 2—95
- Ртузь — Удельный вес 2—449, 450
- Рубильники 2—433
- Рубка 5—112
- Рукава 2—476; 6—353, 360, 361
- резиновые 2—476
- Рукоятки 4—798, 799, 801
- Рулетки стальные — Характеристика 4—9
- Рулетты 1—271
- Уравнение 1—272
- Руль Жуковского 2—511
- Рунге схема вычисления коэффициентов 1—313
- Рунге — Кутта метод решения дифференциальных уравнений 1—212
- Ручьи — Расположение в штампе 5—116—118
- Рывкина и Самойлова резцы 5—300
- Рычаги — Контроль технический 5—542
- Обработка — Оборудование 5—537—542
- Торцы — Фрезерование — Приспособления 5—538, 539
- Рычаги ручные 4—801
- Рычажно-зубчатые приборы 4—14, 27—см. также Индикаторы рычажно-зубчатые; Микрометры Главчаспрома; Микрометры рычажно-зубчатые; Скобы рычажные
- Рычажно-микрометрические приборы 4—15; — Характеристика 4—29
- Рычажно-оптические приборы 4—23; — Характеристика 4—28
- Рычажные микрометры 4—15
- Ряд Лорана 1—198
- Тэйлора 1—197, 198
- Фурье 1—305, 306
- Ряды 1—211
- арифметические 1—80, 81
- биномиальные 1—152
- гармонические 1—149
- двойные 1—312
- для сравнения 1—149
- комплексные 1—194, 195
- конечные числовые 1—80, 82
- функциональные 1—151
- Фурье обобщенные 1—305
- Фурье тригонометрические 1—306
- числовые — Признаки сходимости 1—149, 150; — Сходимость 1—149

С

- С — постоянная Эйлера 1—135
- Сальники с мягкой набивкой 4—727
- Самовозбуждение генератора постоянного тока 2—384
- Самозажимные устройства 5—487, 488
- Самоиндукция 2—333
- Самойлова и Рывкина резцы 5—300
- Самосмазываемость железобитовых подшипников скольжения 4—277
- Самоторможение в клиновых соединениях 4—610
- Сборка — Контроль качества 5—756, 757
- Методы 5—749
- Механизация 5—752
- Технологические схемы 5—746—760
- Сборка без кооперационного расчленения сборочного процесса 5—749
- деталей из древесины 5—628, 633
- литейных форм 5—30
- обечаек 5—247
- резервуарных и котельных конструкций 5—246
- с расчленением сборочного процесса по операциям 5—750

- Сборочные приспособления** 5—759
Свариваемость металлов 5—201; —
 Испытания 6—39
Сварка — Способы — Характеристика
 5—222; — Технология 5—180—231
 — автоматическая под слоем флюса
 5—183
 — автоматическая стыковых швов
 5—187
 — аргоно-дуговая 5—210
 — атомно-водородная 5—214; — Ре-
 жимы 5—220; — Технология 5—
 219
 — без последующей механической
 обработки 5—221
 — газовая 5—199, 228; — Расход ма-
 териалов 5—204; — Технологи-
 ческие показатели 5—203
 — газовая автоматическая 5—204
 — газопрессовая 5—204, 228
 — деталей стальных — Размещение
 точек 5—229
 — дуговая автоматическая и полу-
 автоматическая под флюсом —
 Производительность 5—226
 — дуговая в инертных газах 5—
 209, 210
 — дуговая под защитой газа 5—188
Сварка контактная 5—188, 191; — Тех-
 нология 5—196
 — одноточечная — Режимы 5—196
 — рельефная 5—190, 197, 230
 — роликовая 5—190, 197, 229
 — роликовая прочно-плотных швов —
 Режимы 5—197
 — ролико-стыковая 5—192
 — стыковая 5—196, 228
 — Т-образная 5—190, 230
 — точечная 5—190, 196, 228
**Сварка круговых швов на флюсовой
 подушке** 5—250
 — кузнечная 5—113
 — металлоконструкций дуговая 5—
 249
 — на подкладке (флюсовой, сталь-
 ной, медной) 5—187
 — оплавлением 5—189
 — по методу Игнатъева 5—190
 — по подварке 5—187
 — полихлорвиниловых материалов
 5—604
 — полуавтоматическая под слоем
 флюса 5—183
 — с расчлененной механической
 обработкой 5—224
 — с термической и механической
 обработкой готового узла 5—224
 — сопротивлением 5—189
 — стыковых соединений автоматиче-
 ская — Режимы 5—186
 — толстостенных изделий 5—226
 — угловых швов в лодочку 5—250
 — угольным электродом 5—188
 — электродуговая с газовой защитой
 5—228
 — электрошлаковая 5—227
Сварно-литые конструкции 5—226
Сварные конструкции — Соединения
 деталей при сборке — Допуски 5—
 246
 — Термообработка 5—253
Сварные соединения 4—660, 663—666
 — внахлестку 4—660—662
Сварные узлы — Конструкция 5—229
Сварные цепи 4—764—766
Сварные швы — Напряжения допускае-
 мые 4—663
 — Расположение 4—667
Сварочная дуга 5—180
Сварочные автоматы 5—184
Сварочные агрегаты 5—180, 181
Сварочные аппараты 5—181, 184, 215
Сварочные головки 5—183, 184
Сварочные горелки 5—200
Сварочные машины контактные 5—
 192—195
 — постоянного тока 5—180
Сварочные преобразователи 5—180
Сварочные прессы 5—195
Сварочные работы 5—224
Сварочные тракторы 5—183, 184
Сварочные трансформаторы 5—181
Сварочные флюсы 5—185
Сверла 5—278, 319, 322, 324, 325; —
 Диаметры 5—240
 — Углы 5—322, 324
Сверла двустороннего резания 5—321
 — для глубоких отверстий 5—320
 — одностороннего резания 5—321
 — первые для сверления тонких
 пластмассовых листов 5—609
 — ружейные 5—320
 — спиральные 3—323; 5—319, 320,
 606, 607
 — твердосплавные 5—320, 609
 — центровочные 5—322
Сверление 5—319, 324—326
 — балинита 5—610
 — гетинакса 5—609
 — глубокое 5—325
 — на проход болтов, винтов, шпилек
 4—544
 — оргстекла 5—610
 — прессшпана 5—610
 — слоистых пластмасс 5—606
 — текстолита 5—606, 608
 — центрального гнезда вала 5—503
Свет 2—226—230
Световая волна 4—6
Световые величины 2—224

- Световые единицы измерения 2 — 224
 Светящиеся составы 2 — 225
 Свинец 2 — 5, 7; 3 — 22
 — технический 6 — 294, 295
 Свинцевание — Продолжительность осаждения металла 5 — 714, 726
 Свинчивание изделий с конической трубной резьбой — Схема 4 — 520
 Связи 1 — 352
 Связка абразивного инструмента 5 — 395, 398
 Связующие материалы 5 — 4
 Сдвиг 3 — 19, 26
 — абсолютный 3 — 26
 — октаэдрический 3 — 22
 — относительный 3 — 26, 28
 — фаз при вынужденных колебаниях 3 — 337
 Сегмент квадратной параболы — Центр изгиба 3 — 102
 Сегменты — Геометрические характеристики 3 — 42
 — кругов — Площадь — Таблицы 1 — 37
 — круговые — Геометрические характеристики 1 — 43; — Площадь 1 — 107
 — параболические — Площадь 1 — 107
 — шаровые 1 — 110
 Сейсмическая масса 3 — 381
 Сжатие 3 — 21
 — балок с изгибом 3 — 105
 — внезапное — Коэффициент сопротивления 2 — 487
 — воздуха в компрессорах 2 — 57—59
 — струн 2 — 479
 Сектор кольца — Геометрические характеристики 3 — 43
 — круга — Центр изгиба 3 — 102
 — круговой — Геометрические характеристики 3 — 42
 — тонкого кругового трубчатого сечения — Центр изгиба 3 — 102
 Секториальный момент инерции 3 — 175
 Секторы кольцевые — Площадь 1 — 107
 — круговые — Площадь 1 — 107
 — шаровые 1 — 110
 — эллиптические — Площадь 1 — 107
 Семейство кривых — Дискриминантная линия 1 — 269; — Огибающая 1 — 269
 — линий 1 — 268
 — окружностей — Огибающая 1 — 269; — Уравнение 1 — 269
 — поверхностей огибающее 1 — 297
 Сепарация формовочных смесей 5 — 18
 Серебрение 5 — 715, 723
 — Продолжительность осаждения металла 5 — 726
 Серийные машины 2 — 383; — см. также *Машины постоянного тока*
 Серная кислота 2 — 357
 Сероводород — Тепловые свойства 2 — 29
 Сероуглерод — Тепловые свойства 2 — 30
 Сетки — Изготовление электроискровым способом 5 — 663
 — накатные для измерения деформаций 3 — 518
 — проволочные — Характеристика 5 — 257
 — функциональные 1 — 315
 Сетчатые номограммы 1 — 315, 316
 Сечения — Геометрические характеристики 3 — 33
 — Главные оси 3 — 36
 — Запас прочности по разрушающим нагрузкам 3 — 442
 — Момент инерции 3 — 35, 40
 — Момент инерции обобщенный 3 — 296
 — Момент приведенный — Формулы 3 — 111
 — Момент сопротивления 3 — 40, 296, 442
 — Момент статический 3 — 276
 — Напряжения допускаемые по разрушающим нагрузкам 3 — 442
 — Напряжения касательные при изгибе 3 — 87
 — Напряжения приведенные — Формулы 3 — 110, 111
 — Площади 3 — 40
 — Радиус инерции 3 — 40
 — Усилы предельные по разрушающим нагрузкам 3 — 442
 — Центр изгиба 3 — 101—103
 — Центр тяжести — Положения 3 — 40
 Сечения вала с лыской — Напряжения и угол закручивания при кручении 3 — 29
 — волнистого железа 3 — 43
 — вытянутые любой формы 3 — 32
 — квадратные 3 — 30
 — клинообразные 3 — 31
 — кольцевые 3 — 297
 — конические 1 — 249
 — круглые 3 — 46
 — круглые кольцевые 3 — 48
 — круглые полые 3 — 42, 297
 — круглые сплошные 3 — 297
 — круглых труб 3 — 47
 — круговые 3 — 29
 — круговые поперечные 3 — 110
 — ломаные 3 — 418
 — неправильной формы 3 — 32
 — поперечные 3 — 508
 — прокатных балок 3 — 31

- прямоугольные 3—30, 45, 110, 298
- сложной формы 3—35
- сплошные компактные без входящих углов 3—32
- элементов плоских рам и ферм 3—527
- эллиптические 3—30
- Сигнализация** — Аппаратура 2—436
- Сиккативы** 6—393
- Сила возбуждения колебаний** 3—347
 - гармоническая 3—335
 - инерция — Разложение 1—387
 - полигармоническая 3—347
 - поперечная — Влияние на частоту поперечных колебаний стержней 3—373
 - поперечная в балках при сложном сопротивлении 3—103
 - притирочного шлифования 5—422
 - продольная — Влияние на частоту поперечных колебаний 3—373, 374
- Сила резания** — Подсчет 5—310
 - при зенкеровании 5—331
 - при зубодолблении 5—393
 - при протягивании 5—373
- Сила трения** 1—357
 - тяжести 1—367
- Силиконы** — Применение в качестве смазок 2—221
- Силовая схема Зворыкина** 5—273
- Силовой многоугольник** 1—364
- Силовой план** 1—364
- Силовые линии векторного поля** 1—231
- Силовые измерительные устройства** 6—4
- Силумин** — Усадка 5—22
- Силы** — Перемещение параллельное 1—356
 - Разложение 1—353, 354
 - Сложение 1—353, 364
 - Уравновешивание 1—366
- Силы инерции звеньев плоских механизмов** 1—418
 - непараллельные — Равновесие в плоскости 1—354
 - обобщенные 1—368
 - параллельные — Сложение 1—354
 - приведенные плоских механизмов — Определение 1—421
 - приложенные к твердому телу — Условия равновесия 1—358
 - уравновешивающие плоских механизмов — Определение 1—421
- Сильвестра критерий** 1—369
- Сильфоны** — Расчет 3—213, 216
- Симметрирование тензора** 1—236
- Симметричный профиль Жуковского** 2—511
- Симметричный цикл** 3—450
 - переменных напряжений 3—448
- Симпсона формула** 1—182
- Синтез гармонический** 1—313
 - механизмов 1—459, 460
- Синус интегральный** 1—164
- Синусные линейки** 4—118, 120, 122
- Синусоидальные величины** 1—97, 98
- Синусоидальные функции** — Период 1—98
- Синусоидальный переменный ток** 2—339
- Синусы** — Логарифмы 1—48, 49
 - Таблицы 1—44, 45
 - Теорема 1—102, 114
- Синхронизаторы муфт** 4—198
- Синхронные двигатели** 2—396, 404—408
- Система вала** 4—3, 83
 - координат 1—251
 - линейная однородная с постоянными коэффициентами 1—217
 - мер американская — Перевод в метрическую 1—536
 - мер английская 1—536
 - мер метрическая международная 1—533
 - мер старая русская 1—535
 - n дифференциальных уравнений первого порядка 1—214
 - отверстий 4—3, 83
 - сил — Приведение к заданному центру 1—356
 - сил произвольная 1—356
- Системы** — Динамика 1—388
 - генератор — двигатель 2—420, 425, 426, 444
 - дифференциальных уравнений 1—213, 217
 - единиц 1—383
 - единиц измерений 2—328
 - линейных уравнений 1—117; — Решение приближенное 1—128
 - нелинейные — Колебания 3—345
 - рычажные — Жесткость 3—355
 - с зубчатыми передачами — Момент инерции 3—360
 - с одной сосредоточенной массой — Частота собственных колебаний 3—339
 - с одной степенью свободы — Колебания 3—334, 351
 - с переменными параметрами — Колебания 3—345
 - с сосредоточенными массами — Частота резонансная 3—341; — Частота собственных колебаний 3—341
 - со многими степенями свободы — Динамическая жесткость 3—362

- со многими степенями свободы упругие — Колебания 3 — 340
- статически неопределимые 3 — 156—158
- стержневые — см. *Стержневые системы*
- Скальвание** 3 — 26
- Скалярное поле** 1 — 230
- Скалярные функции** — Градиенты 1 — 231
- Скалярный квадрат вектора** 1 — 228
- Скаляры** 1 — 226
- Скачки уплотнения** 2 — 522, 523
- Складки на бортах деталей при вытяжке** — Предотвращение 5 — 155
- Складывание чертежей** 4 — 809
- Склеивание древесины** 5 — 630
 - пластмасс 5 — 602
 - резины 5 — 603
- Скобы** 4 — 109, 110; — Гибка в штампах 5 — 154; — Подвески 4 — 783
 - грузовые — Расчет 4 — 778, 783
 - для контроля конусов 4 — 123
 - измерительные 4 — 113
 - рычажные 4 — 14; — Характеристика 4 — 27
 - цепные 4 — 777, 778
- Скольжение асинхронных двигателей трехфазных** 2 — 394
 - удельное — Определение 4 — 395
- Скорлупчатые формы литейные** 5 — 29
- Скорость** 1 — 370, 373, 376, 377; — Распределение 1 — 378, 380; — Сложение 1 — 375
 - асинхронных двигателей — Регулирование 2 — 419
 - газового потока — Измерение 2 — 526
 - движения пуансонов 5 — 163
 - деформации пуансонов 5 — 163
 - звездочек втулочно-роликовых цепей 4 — 426
 - звена приведенная 1 — 427
 - звука в разных средах 6 — 81
 - индуцируемая вихревой нитью 2 — 514
 - истечения газа 2 — 90
 - истечения жидкости 2 — 90
 - комплексная 2 — 507
 - критическая валов 3 — 366, 369
 - механизмов 1 — 418, 425
 - накатывания резьбы 5 — 577
 - окружная зубчатых передач 4 — 293
 - охлаждения стали при закалке 5 — 675
 - подачи электродной проволоки 5 — 185
- Скорость резания** 5 — 270; — Номограммы логарифмические 1 — 316, 317, 319
 - зуборезных инструментов 5 — 393
 - при зенкеронии 5 — 331
 - при обработке резцами 5 — 309
 - при сверлении 5 — 324, 326
 - при сверлении гетинакса 5 — 610
 - при сверлении текстолита 5 — 608
 - при точении и строгании 5 — 307
 - при фрезеровании 5 — 348, 350
 - протяжками 5 — 372
 - развертками 5 — 335
 - резбонарезными инструментами 5 — 362, 363
- Скорость синхронная вращения асинхронных двигателей трехфазных** 2 — 394
 - угловая радиально расположенных пружин критическая 3 — 236
 - цепей средняя 4 — 426
- Сланцы** 2 — 188
 - горючие 2 — 184, 188
- Слесарно-пригоночные работы** 5 — 752
- Сложение векторов** 1 — 227, 228
 - вероятностей — Теорема 1 — 321
 - двух параллельных сил 1 — 354
 - на арифмометре 1 — 340
 - на вычислительных машинах 1 — 344, 347
 - пар 1 — 355
 - сил 1 — 353, 364
 - скоростей 1 — 375
 - ускорений 1 — 375
- Слюда** 6 — 370, 371
- Смазка** — Гидродинамическая теория — Уравнение 4 — 259; — Расход — График 4 — 263; — Способы — Классификация 4 — 695
 - в масляной ванне 4 — 700
 - водой 2 — 221
 - индивидуальная 4 — 695, 697, 698
 - кольцами 4 — 700, 701
 - подшипников скольжения 4 — 274
 - посредством роликов 4 — 702, 703
 - при помощи подушек 4 — 699, 700
 - разбрызгиванием 4 — 702
 - с периодически действующим распределителем 4 — 707
 - самозасасыванием 4 — 701, 702
 - струйная 4 — 704
 - тонкораспыленным маслом 4 — 705
 - точечная 4 — 698
 - фитильная подшипников 4 — 699
 - централизованная 4 — 697, 698, 705, 707
 - центробежная 4 — 701, 702
 - цепных передач 4 — 431
 - цилиндрических зубчатых передач 4 — 351
 - червячных передач 4 — 413
- Смазки для автотранспорта** 2 — 219
 - для подшипников качения 4 — 250

- индустриальные 2 — 218, 219
- коллоидные 2 — 221
- консистентные 2 — 214, 221, 222; 4 — 719
- морские 2 — 219
- порошкообразные 2 — 221
- предохранительные 2 — 220
- твердые 2 — 221
- эмульсионные 2 — 221
- Смазочно-охлаждающие жидкости при шлифовании** 5 — 407
- Смазочные канавки** 4 — 717, 719
- подшипников скольжения 4 — 282
- Смазочные контрольные устройства** 4 — 710
- Смазочные масла** — Отстаивание 4 — 719; — Присадки 2 — 223
- жидкие 2 — 204, 208, 210
- Смазочные материалы** 2 — 204—223
- Замена 2 — 221
- Смазочные устройства** 4 — 695—721
- Выбор 4 — 695
- Трубы для подачи масла 4 — 717
- Смазочные устройства для густой смазки** 4 — 697
- для жидкой смазки 4 — 695, 698
- для подачи консистентной смазки 4 — 709
- предохранительные 4 — 710
- Смазывающие и охлаждающие жидкости при доводке** 5 — 418
- Смеси газовые** 2 — 45
- ферромагнитные 4 — 207, 208
- Смешанные дробы** 1 — 62
- Смоли блочные** 6 — 348
- Смрчека метод** 3 — 386
- Смятие** 1 — 439
- Снятие продуктов коррозии с металлов** 6 — 87
- Собачки храповых механизмов** — Пример расчета на удар 3 — 401
- События случайные** 1 — 321
- Совокупность генеральная** 1 — 328
- Сода** — Состав 2 — 200
- Соединение обмоток трехфазных источников энергии** 2 — 342
- приемников энергии в трехфазных цепях 2 — 343
- Соединения (мат.)** 1 — 79
- Соединения бесшпоночные** 4 — 604—609
- болтовые — Коэффициент концентрации 3 — 460
- винтовые — Выполнение 5 — 754
- втулок с листовыми деталями 5 — 157
- деталей машин — см *Заклепочные соединения; Заклепочные швы; Клиновые соединения; Резьбовые соединения* и др.
- конические гладкие 4 — 114; — Посадки 4 — 115
- листовых деталей 5 — 155, 156
- неорганические — см. *Неорганические соединения*
- органические — см. *Органические соединения*
- под пайку 5 — 213
- подвижные 1 — 435
- прессовые — Прочность 4 — 126
- при газовой сварке 5 — 228
- при сборке 5 — 752—754
- разъемные 4 — 497—573
- резьбовые — см. *Резьбовые соединения*
- с гарантированным натягом 4 — 124—126; 5 — 753
- скользящие подвижные 1 — 409
- стержней с листовыми деталями 5 — 157
- стыковые — Пластичность 6 — 41; — Сварка автоматическая — Режимы 5 — 186
- химические — см. *Химические соединения*
- цилиндрические гладкие 4 — 79
- цилиндрических деталей 3 — 220, 227
- шлицевые 4 — 587
- Соединительные части трубопроводов** 4 — 748—763
- Соленоид** 2 — 332
- Соосность** 4 — 36
- посадочных мест подшипников качения 4 — 254
- Сопло** 2 — 495; — Коэффициент расхода 2 — 495; — Определение 2 — 90
- Лаваля 2 — 91, 521
- расширяющееся — Применение 2 — 91, 521
- Соппротивление** 2 — 433 — см. также *Проводимость*
- Последовательные соединения 2 — 340
- Соппротивление в балках сложное** 3 — 101
- в трубопроводах местное 2 — 485
- внутреннее триода 2 — 362
- волновое профиля крыла 2 — 527
- клапанов 2 — 491
- пластическим деформациям 3 — 434
- платины электрическое 2 — 5, 6
- проводника 2 — 337
- пусковое электродвигателей 2 — 411, 433
- разрушению материалов 3 — 435
- разрыву действительное 6 — 7
- разрядное 2 — 433
- свинца электрическое 2 — 5, 7
- срезу металлов в штампах 5 — 138

- термическое 2 — 126, 166
- тока — Измерение 2 — 374
- тонкостенных стержней 3 — 174
- тормозное 2 — 433
- усталости 3 — 466
- электрическое 6 — 68
- Сопряжения для ступенчатых валов —**
Размеры 3 — 417
- Сорбит 6 — 108**
- Сормайт 6 — 327**
- Сортамент стали 6 — 170**
- Составляющие напряжений 2 — 515**
- Соударение двух упругих тел 3 — 401**
— массивных тел 3 — 390
- Сочетания 1 — 79**
- Спарники — Напряжения 3 — 231**
— паровозные — Устойчивость — При-
мер расчета 3 — 322
- Спекание спрессованных металлокера-
мических изделий 5 — 263**
- Спектральная интенсивность 2 — 153**
- Специальные функции 1 — 221**
- Спирали гиперболические 1 — 262, 276**
— логарифмические 1 — 275; — Ра-
диус кривизны 1 — 267, 276; —
Эволюта 1 — 270, 276
- Спицы зубчатых колец 4 — 352**
- Сплавы — Коэффициент расширения 2 —
15**
— Коэффициент теплопроводности 2 —
122
— Полируемость 5 — 639
— Температура плавления 2 — 37
— Теплоемкость 2 — 36, 37
— Теплопроводность 6 — 69
- Сплавы алюминиевые 6 — 296, 301, 302**
— Анализ 6 — 49
— Деформации 5 — 136
— Ковка 5 — 100
— Коэффициент концентрации 3 — 462,
463
— Коэффициент Пуассона 3 — 22
— Отходы и стружка 5 — 56
— Предел выносливости 3 — 466
— Усадка 5 — 22
- Сплавы алюминиевые деформируемые
6 — 303**
— для работы при повышенных тем-
пературах 6 — 311
— литейные 6 — 293, 300; — Режимы
термообработки 5 — 711
- Сплавы антифрикционные 6 — 270**
— бинарные — Электрические свой-
ства 6 — 69
— Вуда 6 — 275
— для моделей 5 — 21
— для постоянных магнитов 2 — 336;
6 — 169
— железо — углерод — Диаграмма со-
стояний 6 — 101
- железоуглеродистые — Коэффи-
циент усталостной прочности 6 —
235
- легкие — Коэффициент concentra-
ции эффективный 3 — 462, 463; —
Коэффициент чувствительности 3 —
462, 463; — Предел выносливости
3 — 462; Предел текучести 3 — 429
- легкоплавкие 6 — 275
— литейные — Усадка 5 — 21
— Лихтенберга 6 — 275
- Сплавы магниевые — Анализ 6 — 49**
— Деформации 5 — 136
— Ковка 5 — 100
— Коэффициент концентрации эффек-
тивный 3 — 462, 463
— Коэффициент Пуассона 3 — 22
— Окислирование — Влияние на предел
выносливости 3 — 466, 467
— Предел выносливости — Влияние по-
верхностных покрытий 3 — 466, 467
— Температурные интервалы 5 — 100
— Удельное рассеяние энергии при ко-
лебаниях 3 — 351
— Усадка 5 — 22
- Сплавы магниевые деформируемые 6 —
315, 316, 317**
— литейные — Режимы термообра-
ботки 5 — 712; — Свойства 6 —
314, 315
- Сплавы медноникелевые 6 — 277—280**
— медноцинковые 6 — 248—250
— медноцинковые, обрабатываемые
давлением 6 — 251—256
— медные — Анализ 6 — 48; — Ковка
Температурные интервалы 5 —
100; — Режимы термообработки
5 — 711, 712
— металлокерамические твердые 6 —
325, 326
— минералокерамические для режу-
щих инструментов 5 — 280
— на железной основе коррозионно-
устойчивые — Химический состав
6 — 150
— наплавочные литые и зернооб-
разные — Химический состав 6 —
327
— наплавочные твердые — Примене-
ние 6 — 326
— наплавочные твердые литые —
Свойства 6 — 327
— никелевые — Ковка — Температур-
ные интервалы 5 — 100; — Свой-
ства 6 — 276
— подшипниковые 4 — 275; 6 — 270
— Розе 6 — 275
— с высоким электрическим сопроти-
влением — Химический состав 6 —
166

- с особыми физическими свойствами.— Химический состав 6—167
- свинцовые 6—294, 295
- сопротивления 6—291
- твердые для режущих инструментов 5—280
- термоэлектродные 6—282
- цветные — Ковка и штамповка 5—136; — Производство — Технология 5—56, 57; — Температура плавки и заливки 5—56
- цинковые 6—292; — Температура плавки и заливки 5—56
- Спрямление дуги окружности** 1—281
- Среднее значение** — Теорема 1—184
- Среднее квадратическое отклонение** 1—305
- Средняя квадратическая погрешность** 1—305
- Среды при электроискровой обработке металла** 5—654
- Срез** 3—26; 6—12
- Стабилизация напряжения затяжки резьбовых соединений** 4—534
- Сталеварение** 5—51, 53, 54
- Сталеплавильные печи** 5—54
- Сталь** 6—100—198
 - Азотирование 3—466, 467; 5—687
 - Анализ 6—45
 - Гибкость 3—319
 - Давление допускаемое контактное 3—482
 - Десульфурация 5—53
 - Деформация при термической обработке 5—696, 698
 - Дефосфорация 5—53
 - Закалка 5—670
 - Запас устойчивости 3—309
 - Износостойкость после термообработки 5—684
 - Классификация 6—122
 - Ковка — Температурные интервалы 5—100
 - Контроль 6—120
 - Коррозия в разных средах 6—206, 207
 - Коррозия межкристаллизационная 6—94
 - Коэффициент влияния абсолютных размеров 3—455
 - Коэффициент понижения допускаемого напряжения на сжатие 3—320
 - Коэффициент Пуассона 3—22
 - Коэффициент теплопроводности 2—121
 - Кривая релаксации 3—486
 - Металлизация 3—466, 467; 5—689
 - Механическая прочность 4—124, 132
 - Механические свойства 5—153, 671, 694, 695
 - Модуль продольной упругости 3—22
 - Модуль сдвига 3—22
 - Напряжения допускаемые — График 3—485
 - Насыщение диффузионное — Влияние на предел выносливости 3—466, 467
 - Обкатка роликом — Влияние на предел выносливости 3—466, 467
 - Обработка при температуре ниже нуля 5—680
 - Отжиг 5—666—668
 - Отпуск 5—677, 680
 - Охлаждение при закалке — Кривые 5—673—675
 - Плавка 5—51
 - Пластичность — Изменение при холодной деформации и рекристаллизационном отжиге 5—668, 669
 - Ползучесть 3—290
 - Предел выносливости 3—449, 465—467, 469, 470; 6—208
 - Предел прочности — Изменение с температурой 3—433
 - Предел текучести 3—429, 432
 - Предел текучести динамический 3—390
 - Предел усталости 3—433; 5—684, 686, 688
 - Прокаливаемость 5—694; 6—37, 111
 - Прокатка холодная — Влияние на механические свойства 5—668
 - Прочность — Изменение при холодной деформации и рекристаллизационном отжиге 5—668, 669
 - Раскисление 5—53
 - Свариваемость 5—201
 - Свойства — Влияние легирующих элементов 6—112, 113
 - Структура 6—104, 107
 - Твердость после термообработки 5—681
 - Температура закалки и отпуска 5—681
 - Термическая обработка 5—666; 6—105
 - Удельное рассеяние энергии при колебаниях 3—351
 - Усадка 5—22; 6—230
 - Химический состав до и после электрометаллизации 5—730
 - Цементация 5—684
 - Цианирование 5—688, 689
- Сталь быстрорежущая** — Режущие свойства 6—36; — Температура закалки 6—130
 - высокой прокаливаемости и с высокими механическими свойствами 6—136

- высокохромистая — Температура закали 6—159
- горячедеформированная 6—670
- горячекатанная 6—171, 173; — Припуски на обработку 6—452, 453
- графитизированная 6—240—244
- для деревообделочных инструментов 6—162
- для деталей арматуры и соединительных частей трубопроводов 4—737
- для зубчатых колес 4—356, 357
- для измерительных инструментов 6—158, 159, 163
- для железнодорожного транспорта — Состав 6—144
- для прессформ 5—262; 6—163
- для прецизионного литья 5—75
- для режущих инструментов 6—161
- для фасонного литья 5—51, 52
- для холодной высадки 5—162
- для штампов 6—162
- жаропрочная — Предел длительной прочности 3—433; — Характеристики механические 3—432
- закаленная 5—670
- износоустойчивая 6—148
- инструментальная 6—122, 155, 174; 5—279, 280
- калиброванная 6—186, 187
- квадратная — Допускаемые отклонения при прокатке 6—172
- конструкционная 3—432; 5—677; 6—126, 130, 136—138, 142, 154, 155
- круглая 6—172, 188
- легированная 3—430; 5—202, 684; 6—109, 111, 142, 153
- листовая 6—188
- магнитная сортовая 2—336
- малоуглеродистая — Сварка атомно-водородная — Режимы 5—220
- на железной основе коррозионноустойчивая 6—150
- низкоуглеродистая 6—139
- низкоуглеродистая электротехническая 6—167
- повышенной обрабатываемости резанием 6—147
- повышенной прокаливаемости 6—133
- полосовая горячекатанная 6—173
- прокатная 6—170—198 — Правка 5—234; — Резка 5—238
- профильная горячекатанная 6—171
- пружинная 4—618, 619
- рессорно-пружинная 4—613, 614; 6—145
- с особыми физическими свойствами — Химический состав 6—163, 164
- сортовая горячекатанная 6—171
- средней прокаливаемости 6—132
- строительная 6—125
- толстолистовая 6—188
- тонколистовая 6—138, 191
- тонколистовая электротехническая — Характеристика 6—168
- трансформаторная холоднокатанная — Свойства магнитные 2—335
- углеродистая 3—429; 5—684; 6—110, 136, 142
- угловая 6—174, 179
- шестигранная — Допускаемые отклонения при прокатке 6—172
- широкополосная 6—188, 192
- штамповая — Температура закали и отпуска 6—160
- штамповая для деформирования в горячем состоянии 6—158
- электротехническая 2—335; 6—167, 168
- эмалируемая 6—374
- Стальные конструкции — Качество —**
- Контроль 5—253
- Клепка 5—251
- Технология производства 5—232—254
- Стальные конструкции сварные плоские — Сборка 5—243**
- Стальные фитинги 4—760, 761**
- Стальные фланцы — Размеры 4—754—756, 758—760**
- Стандартные элементы резьбовых соединений 4—544—573**
- цепных передач 4—432
- Станины токарных станков штамповарные — Чертеж 5—161**
- Станки для анодно-механической обработки металлов 5—645—647**
- для испытания шестерен на шум 5—525
- для обработки отверстий 5—545, 546
- для подгонки деталей машин по весу — Схемы 5—564, 565
- электроискровые — Схема 5—651
- Станции управления электродвигателями 2—436**
- Старая русская система мер 1—535**
- Старение 5—680**
- Гипотеза 3—292, 293
- Статоры 2—381**
- Статика 1—352**
- аналитическая 1—366
- геометрическая 1—352
- Статически неопределимые системы —**
- Расчет 3—156—158
- Статистическая вероятность 1—324**

- Статистическое распределение** 1 — 325
Стекло 6 — 371
 — Модуль продольной упругости 3 — 22
 — Модуль сдвига 3 — 22
 — Предел прочности 3 — 431
Стекло жидкое 5 — 10
Стеклотекстолит 6 — 341, 342
Стеллит 6 — 327
Стенды для изготовления резервуаров
 5 — 248
 — для сборки обечаек 5 — 246
Стенки — Степень черноты 2 — 163; —
 Сила действия потока — Определение
 2 — 500
 — плоские — Теплопередача 2 — 125
 — ребристые — Теплопередача 2 — 128
 — цилиндрические — Коэффициент
 кривизны 2 — 127; — Теплопере-
 дача 2 — 126
 — шаровые — Теплопередача 2 — 127
Степени чисел — Формулы 1 — 74
Степенные функции 1 — 89
Степень диссоциации 2 — 354
 — перекрытия 1 — 493
Степень черноты 2 — 153
 — газа 2 — 163
 — пара 2 — 162
 — полного излучения материалов 2 —
 154
 — стенки 2 — 163
 — углекислоты 2 — 161
Стержневые комплекты — Сборка 5 — 33
Стержневые машины пескодувные 5 — 32
Стержневые системы — Расчет 3 — 140 —
 168
 — Угловые подобия 3 — 387
Стержневые системы вращающиеся —
 Расчет 3 — 229
 — основные — Выбор 3 — 156
 — плоские — Перемещения 3 — 151,
 155
 — пространственные — Перемещения
 3 — 155
 — статически неопределимые 3 —
 156—158
Стержневые смеси 5 — 13; — Свойства
 5 — 5, 6; — Температура 5 — 32
 — быстросохнущие 5 — 16
 — для стального литья 5 — 14, 16
 — для цветного литья 5 — 15, 16
 — для чугунного литья 5 — 14, 16
Стержневые элементы конструкций —
 Запас устойчивости 3 — 309
 — Расчет на статическую устойчивость
 3 — 308—332
Стержневые ящики 5 — 31
Стержни — Деформации — Изменения
 в точке удара 3 — 396, 397
 — Динамические схемы колебаний 3 —
 360
 — Жесткость 3 — 23
 — Заделка 3 — 373
 — Классификация 5 — 4
 — Колесания 3 — 366, 372
 — Коэффициент концентрации и гра-
 фики 3 — 412
 — Кручение 3 — 27
 — Напряжения и деформации от изме-
 нения температуры — Определение
 3 — 24
 — Номинальное напряжение 3 — 22
 — Потенциальная энергия деформации
 3 — 23
 — Производство — Технология 5 — 31
 — Расчет на прочность 3 — 23
 — Редуцирование 5 — 175
 — Силы — Влияние на частоту колеба-
 ний 3 — 373
 — Соединение с листовыми деталями
 5 — 157
 — Сушка 5 — 32
 — Удар продольный — Расчет 3 — 394,
 398
 — Учет собственного веса 3 — 23
 — Форма колебаний 3 — 340, 341
 — Частота колебаний 3 — 338, 367
Стержни большой гибкости — Геометри-
 ческое подобие — Условия 3 — 126
 — Оси изогнутые — Построение 3 — 120,
 124
 — Примеры расчета 3 — 136
 — Расчет 3 — 119, 120, 124, 125
Стержни газотворные 5 — 35, 36
 — движущиеся 3 — 229
 — длинные — Частота собственных
 крутильных колебаний 3 — 366
 — естественно завитые 3 — 323
 — консольные переменного сечения —
 Частота собственных колебаний —
 Определение — Пример 3 — 369
 — монолитные сжатые — Критические
 нагрузки 3 — 309
 — невесомые — Частота собственных
 колебаний — Определение 3 — 367
 — негзотворные керамические 5 — 35
 — однопролетные с шарнирно опер-
 тыми концами — Прогиб наиболь-
 ший 3 — 308
 — переменного сечения; — Гибкость
 4 — 692—694; — Колебания по-
 перечные 3 — 369; — Расчет 3 —
 229
 — постоянного сечения 3 — 353, 355,
 365
 — при продольном ударе 3 — 400
 — призматические 3 — 357, 365
 — прямолинейные сжатые — Устойчи-
 вость 3 — 308
 — прямые постоянного сечения — На-
 пряжения 3 — 21

- равного сопротивления 3 — 24
- с заземленными концами — Пример расчета на колебания 3 — 343
- с меняющимся сечением — Расчет на прочность 3 — 23
- с одним закрепленным концом и другим свободным — Пример расчета на колебания 3 — 342
- с распределенной массой — Расчет на колебания 3 — 342
- с сосредоточенной массой — Жесткость поперечная — Расчет 3 — 353
- сварные швеллерного типа — Пример определения бимоента и напряжений стесненного кручения 3 — 182
- сварных ферм 4 — 685
- сварных ферм переменного сечения составные 4 — 692
- сжато-скрученные — Устойчивость 3 — 324
- сжатые — Расчет по коэффициенту понижения допускаемого напряжения 3 — 320
- сжатые прямолинейные естественно завитые — Устойчивость 3 — 323
- скручиваемые с продольным отверстием — Коэффициент концентрации — Формулы 3 — 407
- слабоизогнутые вращающиеся — Расчет 3 — 232
- слабоизогнутые консольные 3 — 232, 233, 234
- стальные с шарнирно опертыми концами сжатые — Пример расчета на устойчивость 3 — 308
- ступенчатые 3 — 24
- тонкостенные — Расчет 3 — 169 — 189
- фигурные 5 — 31
- шатунов кривошипно-шатунных механизмов — Расчет 4 — 491
- Стефана — Больцмана закон** 2 — 153
- Стильбеса интеграл** — Вычисление 1 — 192
- Стирлинга формула** 1 — 136, 303, 304
- Стоимость моделей** 5 — 23
- Стойки** — Гибкость 3 — 319
- двухступенчатые консольные — Коэффициент устойчивости 3 — 315
- переменного сечения 3 — 315 — 317
- постоянного сечения 3 — 310 — 312
- сжатые — Пример расчета на устойчивость 3 — 320, 321
- составные решетчатые 3 — 318
- ступенчатые — Устойчивость 3 — 315, 316
- чугунные — Критическая сила 3 — 320
- Стойкость** зеренков 5 — 331
- инструмента при электроискровой обработке 5 — 655
- инструментов зуборезных 5 — 391
- инструментов режущих 5 — 276
- резцов 5 — 306, 307
- инструментов резьбонарезных 5 — 362, 364
- металлов коррозионная 6 — 91, 297
- металлов химическая 6 — 85
- протяжек 5 — 374
- разверток 5 — 335
- сверл 5 — 325
- формовочных глин 5 — 3
- фрез 5 — 347, 348
- Сток** 2 — 508, 512
- Стокс** 2 — 451
- Стокса теорема** 1 — 233
- формула 1 — 189
- Столы вибрационные для заполнения форм прецизионного литья** 5 — 73
- Стопорение резьбовых соединений** 4 — 535
- Стрела провеса гибкой нити** 3 — 25
- прогиба 3 — 96
- Стрелки свободных рессор до осадки** — Определение 4 — 657
- Стрингер** 3 — 183
- Стробоскоп** 3 — 379
- Строение атомов** 2 — 271
- электронных оболочек невозбужденных атомов 2 — 272
- Строительные конструкции котельные и резервуарные** — Припуски на обработку 5 — 239
- Строительные материалы** 2 — 117
- Строфонда** 2 — 524
- Стружка** 5 — 272, 275, 342
- Стружколомание** 5 — 297
- Стружкообразование** — Температура — Измерение 5 — 274
- Струйная смазка** 4 — 704
- Структура абразивных инструментов** 5 — 395
- стали 6 — 104, 107
- чугуна 6 — 209, 223, 229, 240
- Струны натянутые** — Жесткость 3 — 354
- Струя** — Сжатие 2 — 479
- Ступенчатая закалка** 5 — 673
- Стыки балок** 4 — 673, 675
- Стьюдента распределение** 1 — 328
- Таблица функции $S(z)$ 1 — 334
- Сублимация** 2 — 38
- Сужение при разрыве** 6 — 7
- Сульфидирование** 5 — 689
- Сульфоуголь** 2 — 200
- Сумма кубов** 1 — 74
- Суммирование тензоров** 1 — 235
- Суспензии магнитные** 6 — 74
- Суспензионные осветители** 2 — 197

Сушила 5 — 33

- Сушка древесины 5 — 628
- лакокрасочных покрытий 5 — 741
- литейных форм 5 — 30
- стержней 5 — 32
- пилотериалов — Режимы 5 — 682
- Сфера** — Преломление луча 2 — 231
- Сфероидизирующий отжиг** 5 — 667
- Сферометры** 2 — 251
- Сферы под действием внутреннего давления** — Определение напряжений и перемещений 3 — 204
- Схема Рунге вычисления коэффициентов** 1 — 313
- Схемы двигателей постоянного тока** 2 — 442
- принципиальные системы генератор — двигатель 2 — 444
- работы на фрезерных станках 5 — 538
- релейно-контакторного управления 2 — 436; — Характеристика 2 — 439
- Сходимость рядов числовых** 1 — 149, 150
- Сходящиеся интегралы** 1 — 174
- Сцепляемость гальванических покрытий с основным металлом** 5 — 729
- Счетчики-расходомеры аксиальные скоростные** 2 — 497, 502

Т

- Табличный расчет геометрии зацепления зубчатых и червячных передач** 4 — 378
- Тавр** — Центр изгиба 3 — 103
- Тангенсы** — Логарифмы 1 — 50, 51
- Таблицы 1 — 46, 47
- Теорема 1 — 102
- Тарировка аппаратуры для измерения деформаций** 3 — 498
- покрытий для исследования деформаций 3 — 516
- Твердосплавные пластинки** 5 — 281, 664
- Твердость** — Значения 6 — 15, 16; — Определение 6 — 12, 13, 15, 17, 18
- абразивного инструмента — Шкала 5 — 395, 399
- брусков для отделочного шлифования — Выбор 5 — 423
- волокнита 3 — 431
- гальванических покрытий 5 — 729
- гетинакса 3 — 431
- дельта-древесины 3 — 431
- инструментальных материалов 5 — 279
- микроскопических участков и тонких слоев 6 — 18
- наклепа 5 — 587
- серого чугуна 5 — 703

- стали после термической обработки 5 — 681
- текстолита 3 — 431
- чугуна 3 — 430; 5 — 703
- Текстолит** 3 — 22; 6 — 341, 342
- Прочность 3 — 431; 5 — 703
- Сверление 5 — 606, 608
- Скленвание 5 — 602
- Токарная обработка 5 — 615
- Фрезерование 5 — 613
- Тела** 1 — 190; — Масса — Вычисление интегрированием 1 — 191; — Тепловые свойства 2 — 1—39
- абсолютно черные 2 — 153
- в жидкости — Условия равновесия 2 — 459
- вращения 1 — 11
- вращающиеся — Давление на опоры 1 — 377, 397; — Действие удара 1 — 405
- диффузно излучающие 2 — 156
- капельно-жидкие — Теплоемкость средняя удельная 2 — 18
- массивные — Соударение 3 — 390
- неправильной формы — Момент инерции 3 — 358
- однородные — Момент инерции 1 — 393; — Центры тяжести 1 — 359
- переменной массы — Динамика 1 — 399
- серые 2 — 153
- твердые — Вращение 1 — 396; — Движение 1 — 379, 381, 398, 401; — Динамика 1 — 396; — Кинематика 1 — 375; — Коэффициент линейного расширения 2 — 15; — Температура плавления 2 — 38; — Теплоемкость 2 — 18; — Теплообмен излучением 2 — 156; — Удельный объем — Определение 2 — 13
- упругие — Соударение — Расчет упрощенный 3 — 401
- ферромагнитные — Свойства 2 — 334
- цилиндрические — Моменты инерции единичные 1 — 419
- Телескопические оптические системы** 2 — 240
- Телескопы** — Разрешающая сила 2 — 234
- Телесные углы** 1 — 104
- Температура** 2 — 1
- абсолютная 2 — 2
- безразмерная пластин 2 — 132
- безразмерная цилиндров 2 — 135
- воспламенения 2 — 170
- вспышки горючих веществ 2 — 312
- газовых смесей 2 — 45
- горения 2 — 173
- закалки 5 — 696

- инверсии 2—92
- испарения 2—295, 302
- кипения газов 2—39
- кипения элементов и их соединений 2—282, 297
- Температура плавления** 2—37
- газов 2—39
- жидкостей 2—38
- металлов 2—37
- неорганических соединений 2—295
- органических соединений 2—297, 302
- проводниковых материалов 2—9
- твердых тел 2—38
- элементов и их соединений 2—282, 295
- Температура пламени** максимальная при горении газов 2—312
- росы 2—112
- самовоспламенения горючих веществ 2—312
- сжатого воздуха 2—57
- Температурное поле** 2—115
- Температурные интервалы**ковки и штамповки 5—100
- Температурный коэффициент** объемного расширения жидкости (газа) 2—140
- Температурный напор** 2—138, 139
- Тензодатчики** проволочные 3—493, 508
- Тензоизмерительная аппаратура** 3—489
- Тензометрирование** 3—489, 499
- Тензометры** 3—489—493
- Тензорное исчисление** 1—234
- Тензорный признак** системы величин a_{ij} 1—236
- Тензоры** 1—234—236
- шаровые 3—8
- Тензочувствительность** 3—494
- проволочных датчиков 3—505
- «Тень звуковая»** 2—255
- Теорема Аполлония** 1—243
- Бернулли 1—329
- Гаусса 2—330
- Дирихле 1—306
- Жуковского 1—421
- Карно—Остроградского 1—403
- Кирпичева и Гухмана 2—115
- Коши 1—197, 210
- Лагранжа—Дирихле 1—368
- Ляпунова 1—329, 368
- Маркова 1—329
- Остроградского 1—233
- Паппа—Гульдена 1—364
- Пифагора 1—103
- Птоломея 1—104
- Пуассона 1—329
- Робертса—Чебышева 1—461
- Ролля 1—141
- Стокса 1—233
- Томсона 2—513
- Чебышева 1—328
- Штурма 1—123
- Эйлера 1—389; 2—506
- взаимности единичных упругих перемещений 3—157
- динамики системы 1—388, 402
- динамики точки 1—386
- дифференциального исчисления 1—141
- импульсов 1—389
- кинетической энергии 1—387, 390, 401
- количества движения 1—386, 402
- количества движения для жидкости 2—506
- количества движения системы 1—388
- количества движения тел переменной массы 1—399
- косинусов 1—102, 114
- моментов количества движения 1—386, 389, 400, 403
- о вихрях 2—513
- о вычетах 1—200
- о движении центра инерции 1—400, 403
- о кинематическом моменте 1—390
- о потере кинетической энергии на удар 1—403; 2—506
- о пределах 1—135
- о среднем 1—184
- о среднем значении интеграла 1—173
- предельная 1—328
- синусов 1—102, 114
- сложения вероятностей 1—321
- тангенсов 1—102
- умножения вероятностей 1—322
- Теоретическая механика** 1—352—406
- Теория вероятностей** 1—321—335
- горения 2—107—175
- кривых второго порядка 1—247
- механизмов и машин 1—407—450
- ошибок 1—330
- поверхностей 1—293
- поверхностей второго порядка 1—255
- пограничного слоя 2—517
- пределов 1—134
- точности механизмов 1—444
- Тепло**—Поток через поверхность 2—138
- Тепловое расширение** 2—15
- Тепловой баланс** резания 5—274
- Тепловой поток** 2—116, 138
- Тепловой эквивалент** работы 2—40
- Тепловые насосы** 2—105
- Тепловые свойства**—см. под наименованием предметов, например, *Ацетилен*—Тепловые свойства; *Вода*—Тепловые свойства

- Теплоемкость 2 — 17
 — азота 2 — 20, 21
 — ацетилена 2 — 34
 — бензола 2 — 35
 — бутадиена 2 — 34
 — водорода 2 — 23
 — воды 2 — 18
 — воздуха 2 — 22
 — водяного пара 2 — 31
 — газов 2 — 17—35
 — газовой смеси 2 — 46
 — гидроксильной группы ОН 2 — 26
 — закиси азота 2 — 28
 — капельно-жидких тел 2 — 18
 — кислорода 2 — 19
 — материалов 2 — 117
 — металлов 2 — 36, 37
 — метана 2 — 32
 — огнеупоров 2 — 118
 — окиси азота 2 — 25
 — окиси углерода 2 — 24
 — перегретого пара 2 — 62, 68, 70, 88, 89
 — пропана 2 — 33
 — пропилена 2 — 35
 — сернистого ангидрида 2 — 29
 — сероводорода 2 — 29
 — сероокиси углерода 2 — 30
 — сероуглерода 2 — 30
 — сплавов 2 — 36, 37
 — строительных материалов 2 — 117
 — твердого топлива 2 — 189
 — твердых тел 2 — 18
 — теплоизоляционных материалов 2 — 117
 — углекислого газа 2 — 27
 — угольной пыли 2 — 189
 — этана 2 — 32
 — этилена 2 — 33
 — этилового спирта 2 — 36
 Теплоизоляционные материалы 2 — 117, 119
 Теплообмен — Поверхности — Выбор 2 — 168
 Теплообмен излучением 2 — 114, 152; —
 — Формулы расчетные 2 — 157
 — в газоходах котлоагрегатов — Расчет 2 — 163
 — между газом и поверхностью твердого тела 2 — 160
 — между твердыми телами 2 — 156
 Теплообмен конвективный 2 — 114, 138, 139
 Теплообменники 2 — 163
 — Гидравлический расчет 2 — 167
 — Оптимальная форма — Выбор 2 — 168
 Теплообменники рекуперативные 2 — 165—167
 — Расчет тепловой 2 — 164
 — Термическое сопротивление — Расчет 2 — 166
 Теплоотдача — Коэффициент поправочный 2 — 146
 — горизонтальных плит 2 — 148
 — конвективная 2 — 114
 — при вынужденном движении жидкости 2 — 143
 — при кипении жидкости 2 — 148
 — при конденсации пара 2 — 150
 — при поперечном обтекании пучков из ребристых труб 2 — 147
 — при поперечном обтекании труб и пучков труб 2 — 146
 — при продольном обтекании пластины 2 — 145
 — при свободном движении жидкости 2 — 147
 — при течении в трубах и каналах 2 — 143
 — при турбулентном течении жидкости (газа) 2 — 144
 Теплопередача 2 — 114—169
 — через стенки 2 — 125—128
 Теплопроводность 2 — 114, 115
 — воды 2 — 123
 — газов 2 — 124
 — древесины 6 — 334
 — жидкостей 2 — 123
 — изоляционных материалов 2 — 117, 119
 — металлов 2 — 120, 122
 — огнеупоров 2 — 118
 — паров 2 — 124, 125
 — при нестационарном режиме 2 — 129
 — при стационарном режиме 2 — 125
 — сплавов 2 — 122; 6 — 69
 — стали 2 — 121
 Теплосодержание идеальных газов 2 — 519
 — продуктов горения 2 — 173
 Теплота 2 — 1—169
 — газов 2 — 18
 — жидкостей 2 — 61
 — плавления 2 — 37
 Теплоты испарения 2 — 37
 — испарения газов 2 — 39
 — образования химических соединений 2 — 304
 — парообразования ртутного пара 2 — 96
 — плавления и испарения неорганических соединений 2 — 295
 — плавления и испарения органических соединений 2 — 302
 — сгорания жидкого топлива 2 — 189
 — сгорания органических соединений 2 — 302
 — сгорания углей 2 — 178

- Теплофикационные установки 2—94
 Теплофикационные циклы паросиловых установок 2—94
 Термическая обработка зубчатых колес стальных 4—358
 — сварных конструкций 5—253
 — сплавов для постоянных магнитов 6—169
 — стали 5—666; 6—105
 — цветных металлов 5—710
 — чугуна 6—212
 Термические термометры — Шкалы 2—5
 Термический к. п. д. цикла двигателей 2—50—52, 56
 — регенеративного 2—94, 95
 — турбин 2—54, 55
 Термодинамика — Дифференциальные уравнения 2—43
 — получения холода 2—97
 — техническая 2—40—113
 Термодинамическая температурная шкала 2—2
 Термодинамический потенциал 2—43
 Термокатодные установки 2—198
 Термометры 2—2, 4, 5
 — ртутные для контроля масла 4—713, 714
 Термопары 2—8; 4—713, 714; 6—56, 290
 Термопласты 6—348
 Термостаты 4—713, 714
 Термотрансформаторы 2—106
 Термоумягчители 2—198
 Термохимическая стойкость формовочных глин 5—3
 Термоэлектродвижущая сила проводниковых материалов 2—9
 — чистых металлов 2—318
 Термоэлектронная эмиссия 2—360
 Термоэлементы 2—8
 Терских уравнение 3—361
 Тетраэдр — Объем 1—110
 Тетроды — Включение — Схема 2—363
 Технологическая база 4—38
 Технологические маршруты обработки валов 5—496—499
 — вкладышей из биметаллической ленты 5—514
 — зубчатых колес конических 5—534—536
 — зубчатых колес цилиндрических 5—526—529
 — зубчатых колес червячных 5—532
 — маховиков 5—519
 — подшипниковых вкладышей 5—507
 — подшипниковых втулок 5—505
 — червяков 5—531
 — шкивов 5—516—518
 Технологические свойства металлов — Испытания 6—34—44
 Технологические схемы сборки 5—746—760
 Технология атомно-водородной сварки 5—219
 — выбивки и очистки литья 5—37
 —ковки 5—89—179
 — контактной сварки 5—196
 — листовой штамповки 5—147
 — литейного производства 5—1—88
 — металлизации 5—733
 — нанесения покрытий 5—714—745
 — наплавки 5—208
 — оксидирования 5—718
 — сварки 5—180—231
 — термической и химико-термической обработки металлов 5—666—713
 — формовки 5—23
 — фосфатирования 5—718
 — штамповки 5—89—179
 Технология обработки валов 5—496
 — деталей из древесины 5—628
 — деталей машин без снятия стружки 5—568—589
 — зубчатых конических колес 5—533
 — зубчатых червячных колес 5—530
 — корпусов и коробок 5—544
 — маховиков 5—518
 — металлов резанием 5—268—494
 — подшипниковых вкладышей 5—506
 — подшипниковых втулок 5—505
 — рычагов 5—537
 Технология производства деталей машин из неметаллических материалов 5—590—633
 — деталей машин пластмассовых прессованием 5—590
 — деталей машин типовых 5—495—566
 — металлокерамических деталей 5—255—267
 — стальных конструкций 5—232—254
 — стержней 5—31
 — цветных сплавов 5—56, 57
 — чугуна 6—204
 Течение — Гипотеза 3—292
 — ламинарное 2—467
 Тигельные печи 5—59
 Тимошенко формула для расчета коэффициента концентрации 3—459
 Тиратроны 2—366, 367
 Ткань асбестовая 6—365
 — пропитанная раствором смолы 6—341
 — стеклянная 6—341
 Ток номинальный предельно допускаемый для плавких вставок проводов и кабелей с резиновой изоляцией 2—351

- номинальный силовых и термических токоприемников 2—350
- пусковой асинхронных двигателей трехфазных 2—394
- эквивалентный 2—428
- Токарно-револьверные станки для изготовления подшипниковых втулок** — Наладка — Схема 5—504
- Токарные работы** — Погрешности 5—435
- Токарные станки** — Станины штамповарные 5—161
- Токи** вихревые 2—333
- линейные — Соотношения с фазными 2—342
- насыщения 2—361
- полупроводниковых выпрямителей 2—369
- Токоприемники** 2—350
- Толщина срезаемого слоя** 5—270
- Томпак** 6—251
- Томсона теорема** 2—513
- Топливо** 2—176—192
- газообразное 2—189—192
- для вагранок 6—40
- жидкое 2—189
- твердое 2—178, 180, 186, 189
- Тор** 1—111
- Поверхность — Вычисление 1—364
- Торможение** — Испытания 6—25, 26
- асинхронных двигателей 2—415
- в системе генератор — двигатель 2—426
- динамическое краново-металлургических двигателей 2—416
- электрическое 2—410
- Тормозные сопротивления** 2—433
- Тормозы** 4—788, 797
- автоматические — Расчет 4—798
- ленточные 4—793, 795, 797
- пластинчатые 4—797
- пружинные 4—792
- центробежные 4—798
- Торсиограммы** 3—378, 381
- Торсионы к редукторам** — Крутящий момент допустимый — Пример расчета 3—446
- Торф** — Характеристика 2—188
- Торцевое биение** 3—37
- Торцефрезерные станки** 5—251
- Торы под действием внутреннего давления** — Определение напряжений и перемещений 3—204
- Точечные источники** 1—234
- Точка** — Движение 1—371
- Движение криволинейное 1—372, 374, 384
- Движение относительное 1—374, 388
- Движение прямолинейное 1—369, 370, 384
- Динамика 1—383
- Закон движения 1—369
- Радиус и вектор 1—228
- Точка возврата** 1—262
- критическая 1—38
- прекращения кривой 1—264
- разрыва 1—136
- росы 2—112
- самоприкосновения кривой 1—263
- Точки** — Удар о поверхность 1—402
- гиперболы — Построение 1—245
- кривой изолированные 1—163
- лемнискаты узловые 1—263
- особые 1—262, 263
- перегиба кривых 1—264
- переменной массы — Движение 1—385
- пересечения прямых — Координаты 1—242
- поверхности — Классификация 1—296
- постоянные международной температурной шкалы 2—3, 4
- равностоящие узловые — Интерполяционные формулы 1—303
- трехкратные 1—263
- угловые кривой 1—264
- узловые 1—263
- Точность** вырубки 5—152
- зубошлифования зубчатых цилиндрических колес 5—521
- зубчатых колес 4—349
- изготовления моделей 5—21
- калибрования 5—569
- механизмов — Теория 1—444
- накатывания резьбы 5—576
- обкатывания 5—573
- обработки металлов 5—431
- отсчета 4—4
- при развертывании 5—571
- размеров пластмассовых деталей 5—592
- штампуемых деталей 5—164
- электроискровой обработки металла 5—653
- Траверы** 4—784
- Травление** колец, шариков и роликов — Режимы 5—726
- химическое — Режимы 5—720
- Траектории** 1—372, 375
- главных напряжений 2—19
- изогональные 1—271
- кривых 1—271
- напряжений в плоских моделях 2—525, 526
- ортогональные 1—271
- Тракторы** сварочные 5—183, 184
- Трансформаторная сталь** холоднокатанная — Свойства магнитные 2—335

- Трансформаторы** 2—392; — Напряжения номинальные 2—380
 — измерительные 2—372
 — сварочные 5—181
Трансцендентные уравнения 1—121, 122
Трапеции — Момент инерции 2—458; 3—37; — Площадь 1—106, 182; — Статический момент 3—276; — Центр тяжести 2—458
 — равнобокие — Напряжения и угол закручивания при кручении 3—31
Трение в манжетных уплотнителях 4—733
 — в механизмах 1—433
 — в рессорах 4—657
 — в уплотнениях посредством поршневых колец 4—733
 — вращения 1—433
 — жидкостное 1—435
 — качения 1—357, 433; 6—28
 — скольжения 1—357, 433, 434; 6—26, 27
Треугольник Паскаля 1—75
Треугольники — Момент инерции 2—458
 — Площадь 1—106
 — Решения 1—102, 112—114
 — Статический момент 3—276
 — Углы — Тригонометрические функции 1—112
 — Центр тяжести 2—458
Треугольники косоугольные — Решения 1—113
 — прямоугольные 1—112; 3—102
 — равнобедренные — Напряжения касательные при изгибе 3—88; — Центр изгиба 3—102
 — сферические — Площадь 1—114; — Решение 1—114
Трефца формула 3—407
Трехгранники — Вращение 1—292
 — сопровождающие 1—284
Трехкратные точки кривой 1—263
Трехэлектродные лампы — см. *Триоды*
Трещина опережающая при резании 5—272
Тригонометрические ряды Фурье 1—306
Тригонометрические уравнения 1—122
Тригонометрия плоская — Формулы 1—94
Триоды 2—361
Тройники 2—487
Тройные интегралы 1—185
Троллей — Допустимые нагрузки 2—351
Труба Венгури 2—406
Трубки Бурдона 3—214
 — вихревые 2—504
 — толстостенные — Расчет на жесткость 3—215
 — тонкостенные — Деформации 3—299; — Расчет на жесткость 3—214
 — электронно-лучевые 2—376
Трубопроводы — Гидравлический расчет 2—472—474, 476, 498—500; — Деформация пластическая — Возникновение 3—220
 — Колена 2—488
 — Напор — Расчет 2—498
 — Отводы 2—488, 489
 — Потери напора местные 2—485
 — Расчет гидравлический 2—498
 — Расширение внезапное 2—486
 — Сжатие внезапное 2—487
 — Соединительные части 4—743—763
 — Спротивления местные 2—485
Трубы — Автоскрепление 3—288; — Выбор диаметра для проводки проводов 4—354; — Гидравлический удар 4—492; — Поверхность и объем 1—109
 — алюминиевые 6—297
 — асбестоцементные — Гидравлический уклон 2—475
 — бурильные — Замки соединительные 4—525; — Резьбы конические 4—524, 525
 — буровые — Резьбы 4—516
 — водопроводные старые — Гидравлический расчет — Номограммы 2—474
 — водопроводные чугунные — Гидравлический расчет 2—475
 — газо-водопроводные — Выбор диаметра для прокладки проводов и кабеля 2—352
 — деревянные из клепок — Гидравлический расчет 2—476
 — конденсаторные из никелевых сплавов 6—281
 — круглые — Сечения — Геометрические характеристики 3—47
 — насосно-компрессорные — Резьбы конические 4—524, 525
 — некруглого сечения — Гидравлический расчет 2—476
 — обсадные — Резьбы конические 4—524
 — стальные 6—196—198; — Значения, эквивалентные абсолютной шероховатости 2—471; — Коэффициент сопротивления трения — График 2—472
 — толстостенные 3—279; — Напряжения 3—299; — Несущая способность под давлением 3—

- 280; — Ползучесть установившаяся 3 — 299
- чугунные — Химический состав 6 — 223
- Тугие посадки для древесины 5 — 621
- Тугоплавкие металлы — Свойства 6 — 324, 325
- Тумаркина метод 3 — 241
- Турбины — Циклы 2 — 53
- Турбулентный режим равномерного поперного движения жидкости 2 — 470
- Тушение горючих веществ 2 — 312
- Тэйлора ряд 1 — 197, 198, 211
- формула 1 — 141, 145
- Тяговая способность приводных ремней 4 — 461
- У**
- Увеличение оптической системы 2 — 232
- Угар металлов 5 — 56
- Углеводороды 2 — 101
- Углекислота — Пары насыщенные — Свойства 2 — 103; — Степень черноты 2 — 161
- Углекислый газ 2 — 27
- Углерод-окись 2 — 24
- Углерод-сероокись 2 — 30
- Угли — Вес 2 — 179
- Классификация 2 — 177
- Марки 2 — 177
- Масса — Пересчет 2 — 177, 178
- Теплота сгорания — Расчет 2 — 178
- Характеристики физико-химические 2 — 180, 186
- Угли бурые — Классификация 2 — 177
- донецкие — Маркировка 2 — 176
- Угловая коррекция паллоидного зацепления — Определение 4 — 364
- Угловые точки кривой 1 — 264
- Угломерные головки 4 — 118, 122
- Угломеры 2 — 252; 4 — 118, 122
- Углоправильные вальцы 5 — 235
- Углы — Деление — Применение спирали Архимеда 1 — 275; — Измерение — Схема 4 — 46; — Методы контроля 4 — 118
- Эйлера 1 — 250
- апретурные 2 — 233
- входящие — Коэффициент концентрации 3 — 458, 461
- закручивания прямых валов — Расчетные формулы 4 — 142
- заточки у расточных резцов 5 — 316
- зацепления зубчатых конических колес 4 — 363
- зуборезных инструментов 5 — 390, 391
- зуборезных фрез 5 — 390
- касательной с осями координат 1 — 261
- на развертках 5 — 334
- нормали с осями координат 1 — 261
- при вершине сверла — Рекомендуемые величины 5 — 322
- протяжек 5 — 371, 372
- резцов 5 — 269, 302—304
- резьбонарезных инструментов 5 — 360
- сверл 5 — 322, 324
- треугольника 1 — 112
- у зенкеров 5 — 329, 330
- у фрез 5 — 343, 344, 345
- Угол вала 3 — 28
- возмущения 2 — 524
- давления 1 — 277, 520
- закручивания между сечениями — Измерение 3 — 514
- закручивания относительный 6 — 11
- закручивания тонкостенных стержней 3 — 171, 173
- критический 2 — 525
- между двумя прямыми 1 — 241
- между плоскостями и прямыми 1 — 254
- наклона винтовой канавки сверл 5 — 324
- наклона зубьев цилиндрических косозубых колес 4 — 387, 388
- передачи 1 — 520
- подъема резьбы 4 — 498
- поперечной кромки сверл 5 — 324
- сдвига 3 — 26
- сдвига фаз 2 — 339
- телесный 1 — 104
- трения 1 — 357
- Уголки равнобокие — Центр тяжести — Вычисление 1 — 364
- с неравными стенками — Геометрические характеристики 3 — 43
- чугунные — Изгиб — Коэффициент концентрации 3 — 445
- Уголь — см. Угли
- Угольники — Гибка в штампах 5 — 154; — Коэффициент концентрации — Графики 3 — 412; — Центр изгиба 3 — 102
- с полкой постоянной толщины — Напряжения и угол закручивания при кручении 3 — 32
- фланцевые 6 — 183

- Удар** 1 — 492; — Действие на вращающееся твердое тело 1 — 405; — Центр 1 — 406; — Расчет 3 — 399
- гидравлический в трубах 2 — 492
- двух тел 1 — 403; — Уравнения 1 — 404
- детали движущейся о деталь закрепленную — Пример расчета 3 — 402
- жесткого груза по упругой системе — Расчет 3 — 391
- по буферу — Расчет 3 — 392
- по пружинам — Расчет 3 — 398
- по системе с двумя степенями свободы — Расчет 2 — 393
- продольный по стержням — Расчет 3 — 394, 398
- упругого тела — Упрощенный расчет 3 — 401
- Ударная волна** 2 — 522
- Ударная вязкость** 6 — 20, 137
- Ударная поляра** 2 — 524
- Ударные нагрузки** — Расчет 3 — 390 — 402
- Удельный вес** 2 — 13, 449
- газовой смеси 2 — 46
- неметаллических материалов 3 — 431
- Удельный объем** 2 — 13
- ртутного пара 2 — 96
- Удлинение при разрыве** 6 — 7
- Узлы колебаний** 3 — 340
- сварных ферм 4 — 690
- Уитстона мост** 2 — 374
- Указатели потока смазки** 4 — 713, 714
- Уклон гидравлический** 2 — 464
- пьезометрический 2 — 464
- Уклоны для поверхностей отливок** 5 — 76
- формовочные 5 — 22
- Ультраоптиметры ИКП-1** 4 — 28
- Умножение вероятностей** — Теорема 1 — 322
- на арифмометре 1 — 340
- на вычислительной машине 1 — 345, 347
- на логарифмической линейке 1 — 338
- сокращенное 1 — 67
- тензоров 1 — 236
- Умягчение воды** 2 — 197, 200
- Универсальные электродвигатели** 2 — 409
- Уплотнения** 4 — 721, 723
- без контакта с трущейся поверхностью 4 — 731
- для быстрых перемещений 4 — 728
- для вращающихся деталей 4 — 729
- для медленных перемещений 4 — 724
- из графитовых или текстолитовых колец 4 — 730
- манжетные 4 — 731
- неподвижных соединений 4 — 721
- подшипников качения 4 — 252
- подшипниковых узлов 4 — 251
- посредством контакта 4 — 723, 729
- посредством резьбы 4 — 724
- при возвратно-поступательном движении 4 — 724
- пустотелыми кольцами 4 — 728
- с фасонным диском 4 — 730
- соединений в арматуре 4 — 739
- фланцевых соединений 4 — 742
- штоков 4 — 727
- Уплотнительные кольца** 4 — 723, 724, 726, 728, 729, 740, 742
- Уплотнительные поверхности фланцев** — Размеры 4 — 748, 749, 752
- Уплотнительные устройства** 4 — 721
- Упоры** — фиксаторы 5 — 244
- Упрочнение** — Влияние глубины слоя при цементации и цианировании 3 — 470; — Гипотеза 3 — 289
- поверхностное — Схемы 3 — 468
- Упрощенный расчет зубчатых передач** 4 — 329
- резьбовых соединений 4 — 525
- Упругая линия** — Уравнение дифференциальное 3 — 96
- Упругие параметры** 3 — 128—135
- Упругость** 3 — 13
- Уравнение Бернулли** 1 — 208; 2 — 463—465, 498, 505, 519, 520
- Бесселя 1 — 221
- Бойля-Мариотта 2 — 44
- Ван-дер-Ваальса 2 — 38, 60
- Вукаловича 2 — 62
- Гей-Люссака 2 — 44
- Громека 2 — 505
- Клапейрона 2 — 45
- Клапейрона — Клаузиуса 2 — 62
- Клера 1 — 209
- Лагранжа 1 — 209, 391
- Лапласа 1 — 196, 225, 234
- Менделеева 2 — 45
- Мещерского 1 — 386
- Остроградского 1 — 403
- Пуассона 1 — 225
- Риккати 1 — 208
- Терских 3 — 361
- Эйлера 1 — 216, 398; 2 — 505
- Уравнение архимедовой спирали** 1 — 649
- Уравнения** — Геометрическое значение 3 — 239
- Номографический порядок 3 — 318
- Решения 3 — 115—133
- Уравнения адиабаты при переменной теплоемкости** 2 — 48

- алгебраические 1—118; — Решения приближенное по методу Лобачевского 1—129
- биквадратные 1—121
- вековые 3—341
- векторные 1—230, 251
- векторные для построения планов скоростей и ускорений механизмов 1—472
- возвратные третьей степени 1—120
- возвратные четвертой степени 1—121
- волновые 1—225
- геометрических мест 1—240
- гидродинамической теории смазки 4—259
- гиперболические 1—122
- движения жидкости 2—514
- движения газов 2—519
- движения твердых тел 1—398
- движения электропривода 2—421
- дифференциальные — см. *Дифференциальные уравнения*
- дифференциальные термодинамики 2—43
- для перемещений в балках дифференциальные 3—99, 100
- для потока реальной жидкости 2—463
- для распределения температуры в пластинках 2—129
- канонические для расчета стержневых систем статически неопределимых 3—157
- квадратные 1—119
- кинематического момента 1—397
- кинетической теории газов 2—44
- кинетической энергии 1—394
- колебаний маятника 1—397
- конвективного теплообмена 2—139
- кубические 1—119
- линейные 1—332; — Система 1—117, 128
- логарифмические 1—122
- математической физики 1—225
- напряжений для цепи якоря двигателя 2—383
- неразрывности 2—504, 507
- окружности 1—243
- параболоида 1—256, 257
- параболы 1—247
- параметрические гиперболы 1—246
- первого закона термодинамики для газового потока 2—90
- поверхности 1—293
- показательные 1—121
- полярные 1—242
- пространственных кривых 1—285
- прямой 1—240—242, 252, 253
- равноосного контура бесшпоночных соединений 4—605
- распространения тепла 1—225
- семейства окружностей 1—269
- скелетных осей 3—346
- состояния приведенные 2—60
- состояния реального газа 2—60
- сплошности 2—90
- телеграфные 1—225
- теории потенциала 1—225
- теплового баланса для рекуперативных теплообменников 2—164
- теплопередачи для рекуперативных теплообменников 2—164
- трансцендентные 1—121
- траекторий 3—20
- трех моментов для балок 3—66, 68
- тригонометрические 3—122
- удара двух тел 3—404
- упругой линии дифференциальные 3—96
- функциональных шкал 1—314
- центроиды 1—282
- циклоиды 1—262
- частот для защемленных консолей 3—368
- четвертой степени 1—120
- эллипса 1—244
- эпициклоиды 1—272
- эпюры бимоментов тонкостенных стержней 3—181
- Уравновешенность** коленчатых валов 4—151
- Уравновешивание** вращающихся масс 1—421
- деталей машин 5—562
- сил 1—366
- Ус на слоистых пластиках** — Фрезерование 5—611, 613
- Усадка** литейных сплавов 5—21
- объемная и линейная стали и чугуна 6—230
- отливков 5—21
- стержни 5—275
- чугуна 5—21; 6—205, 230
- Усилители** двухкаскадные на постоянном токе 2—362
- с возбуждением 2—388
- электромагнитные 2—378, 388, 392; — Применение 2—446
- Усилия** — Определение 3—488—534
- в плоскоременных передачах 4—460
- в сечениях плоских рам и ферм — Определение 3—527

- и перемещения в балках 3 — 56—66
- измерительные 4 — 4
- осевые тормозов — Расчет 4 — 797
- предельные — Определение — Формулы 3 — 441
- предельные по несущей способности 3 — 451
- предельные по разрушающим нагрузкам для сечений 3 — 442
- продольные — Определение 3 — 514; — Пример определения 3 — 515
- пружин при ударе — Расчет — Волновой метод 3 — 398
- Ускорение** 1 — 370, 373, 375—377; — Распределение 1 — 379, 380; — Сложение 1 — 375
- звена приведения угловое 1 — 427
- механизмов 1 — 418, 425
- силы тяжести — Таблицы величин 1 — 8
- Условие Липшица** 1 — 210
- Условия пластичности** 3 — 19
- Условные обозначения** 1 — 1; 2 — 40
- Усталостная прочность валов** 4 — 131, 149
- пружин 4 — 645
- резьбовых деталей 4 — 533
- Усталостное выкрашивание** 1 — 439
- Усталость** — Испытания 6 — 21
- деталей машин — Примеры расчета 3 — 475
- коррозионная металлов 6 — 94
- материалов — Кривые 3 — 430
- металлов 6 — 2—94
- приводных ремней 4 — 463
- Установки водоочистные** 2 — 196, 197, 199
- газопрессовые 5 — 204
- для газопламенного напыления порошковых покрытий 5 — 732
- для измерения механических величин 1 — 415
- для исследования напряжений по методу рассеянного света 3 — 524
- для содо-известкового водоумягчения 2 — 199
- для электронской обработки 5 — 652; — Схема конденсаторная 5 — 650
- для электрополирования 5 — 634
- паросиловые 2 — 93
- сборочные с подвижными порталами 5 — 245
- теплофикационные 2 — 94
- термокатодные 2 — 198
- Установочные элементы приспособлений** 5 — 479
- Устойчивость балок** 3 — 186, 187
- вертикальных стенок балок 4 — 678
- движения 1 — 392
- клепаных балок общая 4 — 677
- колец круговых 3 — 324
- конструкций — Расчет 3 — 320
- на опрокидывание 1 — 369
- оболочек тонкостенных — Расчет 3 — 207
- пластинок — Расчет 3 — 198 — 201
- плоской формы изгиба балок 3 — 325
- при продольном изгибе — Нагрузка сжимающая допускаемая 3 — 309
- пружин сжатия цилиндрических витых 3 — 330
- равновесия 1 — 368
- решетчатых стоек составных 3 — 318
- сверл спиральных — Пример расчета 3 — 323
- спарников паровозных — Пример расчета 3 — 322
- стержневых элементов конструкций — Расчет 3 — 308—332
- стержней прямолинейных естественно завитых 3 — 323, 324
- стержней сварных ферм — Проверка 4 — 685
- стержней сжатых прямолинейных 3 — 308
- стержней сжатых тонкостенных 3 — 184
- стержней тонкостенных с открытым профилем 3 — 170
- стоек — Расчет 3 — 309
- стоек переменного сечения 3 — 315
- стоек постоянного сечения 3 — 310—312
- стоек с непрерывным изменением поперечного сечения 3 — 316
- стоек сжатых 3 — 320, 321
- стоек ступенчатых 3 — 315, 316
- Устранение колебаний** 3 — 351
- Устройства запорные** 2 — 490
- Уступы** — Конструирование 5 — 553
- Усушка древесины** 6 — 333
- Утечка** через зазоры 4 — 729
- через лабиринт 4 — 733
- Утонение витка червяка** наименьшее 4 — 320
- зуба наименьшее конических зубчатых колес 4 — 315
- Утяжка при гибке** 5 — 129, 130
- Уширение** 5 — 111
- Ушки рессор** — Типы 4 — 655

Ф

- Фазы синусоидальных величин 1—98
 Факториалы чисел — Таблицы 1—41
 Факториальные функции 1—302
 Фальц на слоистых пластиках — Фрезерование 5—612
 Фанера 3—22, 351; 6—337
 — березовая бакелитовая 5—632
 — клееная — Свойства 6—334—336
 Фарадея закон 2—356
 Фарфор технический 6—381, 382
 Ферменные конструкции — Перемещение — Определение 3—155
 — Пример расчета 3—149
 Фермы — Перемещение узлов — Диаграммы 3—156; — Типы 3—140
 — балочные — Линии влияния 3—145
 — крановые сварные 4—692; — Расчет — Коэффициент динамический 4—687
 — плоские 3—140; — Образования 3—140; — Расчет 3—143
 — плоские с неподвижной нагрузкой — Расчет усилий 3—141—144
 — плоские спаренные — Расчет 3—148
 — преобразованные 3—141
 — пространственные 3—146; — Расчет 3—146, 147; — Усилия — Расчет 3—146
 — с тремя опорными стержнями — Пример расчета 3—143
 — с цилиндрической неподвижной опорой слева и цилиндрической подвижной опорой справа — Пример расчета 3—143
 — сварные — Конструирование 4—684; — Элементы — Подбор сечений 4—687, 688
 — сварные крановые 4—692; — Расчет 4—687
 — статические определимые — Расчет 3—140
 — стропильные — Пример расчета 3—142
 Ферромагнитные смеси 4—207, 208
 Ферромагнитные тела — Свойства 2—334
 Феррит 6—369
 Ферронихром 6—288, 289
 Ферросплавы 5—53
 Фибра 3—22; 6—344
 — Прочность механическая 3—431
 Фигура Лиссажу 3—379
 Фигуры — Элементы — Вычисление 1—102—114
 — однородные — Центр тяжести 1—360
 — песочные 3—383
 — плоские — Периметры — Вычисление 1—106; — Момент инерции 2—458; — Площадь — Вычисление 1—106, 189; — Центр тяжести 2—458
 Физическая оптика 2—226
 Физические маятники — Колебания 1—397
 Фиксаторы для установки заготовок 5—491
 — сборочные для листовых конструкций 5—247
 Филоненко формула 2—471
 Фильтрация воды 2—195
 — смазочных масел 4—719
 Фильтрволокно 6—364
 Фильтрование параллельное 2—201
 Фильтрпластины 6—364
 Фильтры — Регенерация 2—201
 — акустические 2—268
 — анионитовые — Регенерация 2—202
 — бронзовые 6—321
 — двухпоточные 2—196
 — для смазок 4—719—721
 — зернистые напорные 2—196
 — металлокерамические 5—265; 6—321
 Фитинги 2—489; — Материалы 4—735
 — ковкого чугуна 4—760, 761
 — стальные 4—760, 761
 Флагопит 6—371
 Фланкирование зубьев 5—375
 Фланцевые соединения — Податливость 3—356
 — Размеры 4—723
 — Уплотнения 4—742
 Фланцы — Конструирование 5—85
 — Коэффициент концентрации — Пример определения 3—463, 465
 — Материалы 4—735
 — Присоединительные размеры 4—750
 — Уплотнительные поверхности — Размеры 4—748, 749, 752
 Фланцы арматуры соединительных частей и трубопроводов 4—748
 — крепежные — Размеры 5—414, 415
 — стальные — Размеры 4—754—756, 758—760
 — чугунные — Размеры 4—753
 Флюсы для газовой сварки 5—202
 — для пайки 5—211, 212
 — для плавки чугуна 5—40
 — для сталеварения 5—51
 — для цветного литья 5—56
 — сварочные 5—185
 Фокусные расстояния — Расчет 2—232
 Фокусы оптической системы 2—231
 Фон 2—257

- Формовка** 5 — 146; — Способы — Классификация 5 — 24; — Технология 5 — 23
 — в стержнях 5 — 28
 — деталей из пластмасс — Методы 5 — 598—601
 — машинная 5 — 27, 28
 — по моделям 5 — 25
 — ручная 5 — 24, 25
 — шаблонная 5 — 26
Формовочные глины 5 — 2, 3, 10
Формовочные краски 5 — 17
Формовочные материалы 5 — 1; — Регенерация 5 — 18
 — вспомогательные 5 — 17
 — специальные 5 — 3
Формовочные машины 5 — 27, 29
Формовочные пески 5 — 1
Формовочные смеси — Сепарация 5 — 18
 — для прецизионного литья 5 — 73
 — для стального литья 5 — 12
 — для цветного литья 5 — 13
 — для чугунного литья 5 — 11
Формовочные уклоны 5 — 22
Формообразование головок 5 — 163
Формообразующие операции при холодной высадке 5 — 165
Формула Базена 2 — 485
 — Бесселя 1 — 303
 — Блазиуса 2 — 471
 — Валлиса 1 — 136
 — Власова 3 — 174
 — Гаусса 1 — 183
 — Голубинского 2 — 150
 — Грифтиса 3 — 406
 — Гухмана и Илюхина 2 — 145
 — Давиденкова 3 — 481
 — Доброхотова 5 — 101
 — Дункерля 3 — 367
 — Жуковского 2 — 499
 — Зворыкина 5 — 274
 — Конакова 2 — 471
 — Коши 1 — 141
 — Коши — Адамара 1 — 195
 — Кривоухова 5 — 274
 — Кружилина 2 — 145, 149
 — Кутателадзе 2 — 149
 — Лагранжа 1 — 141, 304
 — Ляме 3 — 219
 — Маклорена 1 — 142
 — Максвелла — Мора 3 — 151
 — Менделеева 2 — 450
 — Михеева 2 — 144, 147
 — Муавра 1 — 86
 — Никурадзе 2 — 471
 — Ньютона 1 — 303, 304
 — Ньютона — Лейбница 1 — 173
 — Павловского 2 — 473
 — Петрова 2 — 470
 — Симпсона 1 — 182
 — Стирлинга 1 — 136, 303, 304
 — Стокса 1 — 189
 — Тимошенко 3 — 459
 — Треффца 3 — 407
 — Тэйлора 3 — 141, 145
 — Филоненко 2 — 471
 — Френе 1 — 292
 — Цехновича 3 — 459
 — Чаплыгина 2 — 510
 — Чебышева 1 — 183
 — Шези 2 — 470
 — Шифринсона 2 — 471
 — Эйлера 1 — 103; 3 — 208
Формулы дифференцирования 1 — 139
 — для геометрического расчета элементов зацепления 4 — 325, 360, 406
 — для напряжений и угла закручивания при кручении 3 — 29
 — для напряжений по наклонным площадкам 3 — 6
 — для напряжений при кручении 3 — 29
 — для определения контрольных размеров элементов зацепления 4 — 309—311, 318
 — для определения предельных нагрузок на пластины и оболочки 3 — 284—286
 — для потенциальной энергии единицы объема при упругой деформации 3 — 16
 — для расчета колебаний крутильных 3 — 335
 — для угла закручивания 3 — 29
 — интерполяционные — Остаточные члены 1 — 304
 — конечных приращений 1 — 141, 145
 — приведения 1 — 92, 163
 — трапеций 1 — 182
Формы для литья под давлением 5 — 64
 — литейные 5 — 29, 60
Фосфатирование 5 — 715, 718, 721
Фотокамеры 2 — 247, 248
Фотообъективы 2 — 245
 — Разрешающая сила 2 — 234
Фотореле — Схема 2 — 365
Фотоувеличители 2 — 249
Фотоэлектронная эмиссия 2 — 360
Фотоэлементы 2 — 364, 365
Фрезерные станки 5 — 538
 — Скорость резания 5 — 348, 350
Фрезерование баллинита 5 — 613
 — металлов 5 — 336, 346, 347, 351
 — оргстекла 5 — 614
 — резьбы — Величина подачи 5 — 361, 362
 — слоистых пластмасс 5 — 611

- стыковых поверхностей вкладышей 5—508
- текстолита 5—613
- торцов 5—251
- торцов вала — Схема 5—496
- торцов рычагов — Приспособления 5—538, 539
- торцевых поверхностей вкладышей 5—509
- уса на слоистых пластиках 5—611, 613
- фальца на слоистых пластиках 5—612
- фасонные зубчатых венцов 5—374
- Фрезы** — Группировка 5—336
- Износ 5—278—347
- Конструкция 5—337
- Применение 5—337
- Режущие части — Геометрические параметры 5—343
- Стойкость 5—347, 348
- Типы 5—339
- Углы 5—343, 344, 345
- Характеристика 5—339
- Число зубьев 5—338
- Фрезы** дисковые 5—339
- для обработки оргстекла 5—614, 615
- для шпонок сегментные 5—340
- зуборезные — Углы 5—390
- концевые 5—340
- кукурузные 5—342
- отрезные 5—340
- пазовые для обработки фальца на слоистых пластиках 5—612
- пальцевые модульные 5—376
- прорезные 5—340
- резьбовые 5—359; — Зубья — Число 5—360
- с разделением стружки 5—342
- Т-образные 5—339
- торцевые насадные 5—340
- угловые 5—341
- фасонные 5—342
- цилиндрические 5—339
- червячные 5—380, 381, 385, 388—390
- Френе формула** 1—292
- Фреоны** — Свойства 2—97, 99—101
- Фрикционные материалы** металлокерамические 5—265; 6—320, 321
- Фрикционные передачи** 4—436—452
- Конструкция 4—438
- К. п. д. 4—448
- Коэффициент трения 4—445
- Механизмы самозатягивания — Расчет 4—449
- Поверхности рабочие — Приведенные кривизны 4—446, 447
- Потери 4—448
- Расчет кинематический 4—444
- Тела качения — Расчет 4—445
- Характеристика 4—285
- Фрикционные передачи** для постоянного передаточного отношения 4—436, 438
- с кольцом — Расчетная схема 4—449
- Фрикционные редукторы** быстроходные 4—438
- Фрикционные шпонки** 4—574, 579
- Фруда число** 2—517
- Функции** — Графики 1—88—91, 94, 97—99, 101
- Дифференциалы 1—138
- Предел 1—134
- Приближенное аналитическое выражение 1—305—313
- Производные 1—137
- Разложение 1—307
- Разложение в бесконечные ряды 1—151
- Разложение в ряд Фурье 1—308
- Разложение в ряды по полиномам Чебышева 1—311
- Разложение в степенные ряды 1—152
- Экстремальные значения 1—147
- Функции** Бесселевы 1—58, 222, 223, 311
- Лежандра 1—223
- алгебраические 1—90
- аналитические — Вычеты 1—200; — Разложение в степенные ряды 1—197
- бесконечно малые 1—135
- векторные 1—230
- гармонические 1—234
- гиперболические 1—100; — Графики 1—101; — Таблицы 1—52
- гиперболические комплексных переменных 1—196
- гиперболические обратные 1—101
- гипертригонометрические Крылова 3—343
- голоморфные 1—198
- двух переменных — Формула Тэйлора 1—145
- дробнолинейные 1—90
- заданные параметрически — Дифференцирование 1—139
- интегральные распределения вероятности 1—322
- иррациональные — Интегрирование 1—160
- квадратные 1—88
- комплексного переменного 1—194—205
- кратного аргумента 1—95
- круговые 1—91; — Таблицы 1—52

- линейные 1—87
- логарифмические 1—91
- многих переменных — Дифференцирование 1—143
- многозначные 1—196
- монотонные 1—137
- непрерывные 1—136
- неубывающие 1—137
- невязные — Дифференцирование 1—146
- обратные 1—91, 99, 101, 196
- ограниченные сверху (или снизу) 1—134
- однозначные — Точки особые 1—199
- периодические 1—91
- показательные 1—91, 195, 302; — Таблицы 1—52
- половины аргумента 1—95
- простейшие — Конечные разности 1—301
- распределения 1—193, 322
- рациональные 1—87, 90; — Интегрирование 1—156
- синусоидальные — Период 1—98
- скалярные — Градиенты 1—231
- Функции сложные** — Дифференциалы 1—139, 145
- Дифференцирование — Цепное правило 1—139
- Производные 1—138
- Производные частные 1—145
- Функции специальные** 1—221
- степенные 1—89
- трансцендентные 1—90; — Интегрирование 1—161
- термодинамические 2—42
- Функции тригонометрические** 1—91, 302
- Выражение через другие 1—95
- Значения — Таблицы 1—44
- Значения для некоторых аргументов 1—93
- Изменения по знаку и величине по четвертям круга 1—93
- Логарифмы десятичные 1—48
- Функции тригонометрические дополнительные углов** — Зависимости 1—92
- комплексных переменных 1—195
- кратного аргумента 1—95
- обратные 1—99
- одного аргумента — Соотношения 1—94
- половины аргумента 1—95
- произведений углов — Преобразование в суммы 1—96
- суммы и разности углов 1—94
- суммы углов — Преобразование в произведения 1—96
- углов треугольника — Зависимости 1—112

- Функции факториальные** 1—302
- целые рациональные 1—87
- эвольвентные 1—277
- элементарные 1—87—114
- Функциональные ряды** 1—151
- Функциональные сетки** 1—315
- Функциональные шкалы** — Уравнения 1—314
- Функция Жуковского** 1—205; 2—511
- Кристоффеля — Шварца 1—205
- Крылова 3—343
- Лапласа — График 1—324
- $\Phi'(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}z^2}$ — Значения 1—60
- $\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ — Значения 1—61
- эвольвентная $\varphi = \text{inv } \alpha = \text{tg } \alpha - \alpha$ — Значения 1—57
- Фунты английские** — Перевод в килограммы 1—542
- Фурье интеграл** 1—308
- коэффициент обобщенный 1—305
- критерий 2—130
- ряд обобщенный 1—305
- ряд тригонометрический 1—306
- Футы** — Перевод в метры 1—539; — Перевод в ярды 1—540

X

- Характеристики вероятностные** 1—326
- логарифма 1—77
- Химико-механическая обработка металлов** 5—663—665
- Химико-термическая и термическая обработка металлов** 5—666—713
- обработка металлов — Влияние на предел выносливости 3—469
- Химические соединения** — Образование — Свободные энергии 2—304
- Теплоты образования 2—304
- Химия** 2—269—315
- Хлорметил** — Свойства 2—97
- Ходовые посадки для древесины** 5—621
- Холод искусственный** — Производство — Термодинамика 2—97
- Холодильные агенты** 2—97, 98
- Холодильные машины** 2—103—105
- Хомутики металлокерамические** 5—261
- Хорды** — Длины — Таблицы 1—37
- Хранение моделей** 5—23
- опок 5—19
- пластмассовых деталей машин 5—606

Хромирование 5 — 715, 723; — Продолжительность осаждения металла 5 — 726
 — пористое поршневых колец 5 — 725
 Художественное литье 6 — 223

Ц

Цанги зажимные — Расчет 5 — 485
 Цветное литье 5 — 56; — Стержневые смеси — Составы типовые 5 — 15, 16
 Цветные металлы — см. *Медь; Никель; Цинк*
 Целые функции рациональные 1 — 87
 Целлулоид 3 — 22; 6 — 350; — Прочность механическая 3 — 431
 Цемент 5 — 10; 6 — 104
 Цементация 5 — 684
 — Влияние глубины слоя на упрочнение 3 — 470
 — Влияние на предел выносливости 3 — 469
 Цементированный слой — Глубина 5 — 685
 Центр водоизмещения 2 — 459
 — геодезической кривизны поверхности 1 — 296
 — группирования 1 — 326
 — жесткости 3 — 183
 — изгиба 3 — 27, 101—103, 177
 — инерции — Движение — Теорема 1 — 400, 403
 — кривизны 1 — 266
 — линии второго порядка 1 — 247
 — параллельных сил 1 — 359
 — сдвига 3 — 183
 — тяжести 1 — 359; — Координаты — Определение 1 — 91
 — тяжести объемов 1 — 359
 — тяжести плоской фигуры — Определение 1 — 365
 — тяжести сечений — Положение 3 — 40
 — тяжести фигур 1 — 360
 — удара для двух тел 1 — 406
 Центральные кривые 1 — 247
 Центрифугирование 4 — 721
 Центробежное литье 5 — 66, 68
 Центробежные нагнетатели 2 — 59
 Центрование протяжек 5 — 367
 Центроиды 1 — 271
 Центры для установки по коническим фаскам 5 — 481, 482
 Цепи — Ветви — Усилие 4 — 429
 — Закрепление — Детали 4 — 777
 — Звездочки 4 — 421
 — Звенья — Число ударов 4 — 426
 — Коэффициент смазки 4 — 427
 — Коэффициент эксплуатации 4 — 427
 — Полезное усилие 4 — 428
 — Скорость 4 — 426

— Шаг 4 — 426
 Цепи втулочно-роликовые — Звездочки — Число оборотов и скорость 4 — 426
 — Коэффициент безопасности 4 — 429
 — Полезная мощность 4 — 428
 — Полезное усилие 4 — 428
 — Скорость 4 — 426
 — Удельное давление — Расчетные значения 4 — 428
 — Шаг — Измерение 4 — 423
 Цепи втулочно-роликовые для велосипедов и мотоциклов 4 — 432, 433
 — приводные 4 — 416; — Характеристика 4 — 417, 418; — Шаг 4 — 418
 Цепи втулочные — Шаг — Измерение 4 — 423
 — для мотоциклов 4 — 432; — Зубчатки — Профиль зуба 4 — 433
 — приводные 4 — 416
 Цепи зубчатые — Звездочки — Число оборотов 4 — 426
 — Коэффициент безопасности 4 — 429
 — Полезная мощность 4 — 428
 — Полезное усилие 4 — 428
 — Скорость 4 — 426
 — Удельное давление — Расчетные значения 4 — 427
 — Шаг 4 — 421
 Цепи зубчатые (бесшумные) 4 — 419, 420
 — магнитные 2 — 337
 — пластинчатые 4 — 764, 768; — Звездочки приводные 4 — 773; — Характеристика техническая 4 — 764, 767
 — приводные — Виды 4 — 416; — Звездочки с необработанными зубьями 4 — 434; — Конструкция 4 — 416
 — приводные втулочно-роликовые для сельскохозяйственных машин 4 — 432
 — размерные — см. *Размерные цепи*
 — сварные 4 — 764; — Характеристика техническая 4 — 764—766
 — тяговые разборные — Характеристика техническая 4 — 764
 — электрические 2 — 334, 340—342
 Цепные передачи 4 — 416—435
 — Звездочки — Расстояние между центрами 4 — 425
 — К. п. д. 4 — 429
 — Параметры — Выбор и расчет 4 — 424
 — Передаточное отношение 4 — 424
 — Положение 4 — 425
 — Расчет 4 — 424, 427
 — Смазка 4 — 431
 — Стандартные элементы 4 — 432

- Характеристика 4 — 285
- Эксплуатация 4 — 431
- Цепные передачи зубчатые** — Пример расчета 4 — 431
- Цепочка сил** 3 — 148
- Цехновича формула для расчета коэффициента концентрации** 3 — 459
- Цианирование стали** 5 — 688, 689; — Влияние глубины слоя на прочные 3 — 470
- Цикл Карно** 2 — 51
- Циклоидальные кривые** 1 — 272, 278
- Циклоиды** 1 — 273, 279
- Радиус кривизны 1 — 267
- Уравнения параметрические 1 — 262
- Эволюта 1 — 270
- Циклоиды-рулетты** 1 — 278
- Циклы газовых двигателей** 2 — 50
- для совместного получения тепла и холода 2 — 105
- многоступенчатых компрессоров 2 — 58
- паросиловых установок 2 — 93, 95
- переменных напряжений — Коэффициент асимметрии 3 — 448
- поршневых двигателей 2 — 51
- реактивных двигателей 2 — 55, 56
- тепловых насосов 2 — 105
- теплофикационных установок 2 — 94
- термотрансформаторов 2 — 106
- турбин внутреннего сгорания 2 — 53
- холодильных машин 2 — 103—105
- Цилиндр червяка делительный** 4 — 405
- Цилиндрическая система координат** 1 — 251
- Цилиндрические копыта** 1 — 109
- Цилиндрические поверхности** 1 — 298
- Цилиндры** 1 — 109
- Безразмерная температура 2 — 135
- Контакт с деталями различной формы — Формулы 3 — 420
- Нагревание — Расчет 2 — 133, 134, 136
- Обтекание 2 — 509
- Объем 1 — 109
- Поверхность 1 — 109
- Уравнения 1 — 256
- Цилиндры** 1 — 109
- автоскрепленные 3 — 222
- вращающиеся пневматические — Крепление 5 — 285, 286
- вращающиеся с патроном с кулачками самоустанавливающимися 5 — 483, 485, 486
- гиперболические 1 — 256
- под действием нагрузки — Напряжения и перемещения 3 — 204
- скрепленные 3 — 222
- Цилиндры толстостенные** — Напряжения — Определение графическое 3 — 221; — Напряжения температурные 3 — 224; — Несущая способность — Повышение 3 — 223, 224
- под действием внутреннего и наружного давления — Расчет 3 — 219
- под действием переменной по длине осесимметричной нагрузки 3 — 225
- Цилиндры тонкостенные с отверстием** — Коэффициент концентрации — Формулы расчетные 3 — 407
- эллиптические 1 — 256
- Цинк** 3 — 22; 6 — 291, 293, 294
- Цинкование** 5 — 714, 721, 726
- Цинковые сплавы** — см. *Сплавы цинковые*
- Циркуляция вектора** 1 — 233
- скорости жидкости 2 — 504
- Цировка** 5 — 741

Ч

- Чаплыгина метод решения дифференциальных уравнений** 1 — 212
- формулы 2 — 510
- Части пропорциональные для линейной интерполяции** 1 — 35
- Частота** — Оценка 1 — 330
- Частота** 1 — 325; 2 — 339
- антирезонансная 3 — 362
- высшая поперечных колебаний — Определение 3 — 372
- звука — Восприятие 3 — 256
- изгибных колебаний колец 3 — 378
- колебаний 1 — 98; 3 — 333; — Измерение 3 — 378
- колебаний закрученной консоли 3 — 354
- колебаний систем со многими степенями свободы 3 — 340
- поперечных колебаний стержней — Определение 3 — 367
- резонансная 3 — 362; — Определение по вековому уравнению 3 — 341
- резонансная систем с сосредоточенными массами 3 — 341
- Частота собственных колебаний** — Определение 3 — 343, 344, 360, 383
- вращающихся дисков 3 — 377
- консольных стержней переменного сечения — Пример определения 3 — 369
- мембран 3 — 375
- оболочек 3 — 376
- пластинок 3 — 375
- призматических стержней 3 — 365

- простых систем 3—361
- разветвленных систем — Расчет по методу остатка 3—364
- систем вал — винт 3—363
- систем с сосредоточенными массами 3—341
- Частота угловая** 2—339
- Частотная отстройка** 3—351, 352
- Частотомеры** 3—378
- Чебышева полиномы** 1—224
 - способ спрямления дуги окружности 1—281
 - теорема 1—328
 - формула 1—183
- Чеканка** 5—133
- Удельные давления 5—165
- Червяк-зубчатая рейка** 1—497
- Червяк-червячная рейка** 1—497
- Червяки** 4—405, 408, 409; 5—529—531
- Червячные колеса** — Валы — Определение действующих сил 4—413
 - Диаметр наружный — Расчет 4—409
 - Допускаемое окружное усилие 4—412
 - Зубья — Выбор числа 4—408; — Расчет 4—410, 412
 - Конструкции типовые 4—413
 - Коэффициент деформации 4—410, 411
 - Коэффициент материала 4—410, 411
 - Коэффициент числа циклов напряжения 4—410, 411
 - Коэффициент эквивалентного времени работы 4—410, 411
 - Крутящий момент 4—412
 - Межосевые расстояния 4—408
 - Модуль — Выбор 4—408
 - Рабочие чертежи 4—409
 - Ширина — Расчет 4—409
- Червячные передачи** 1—497; 4—405—415
 - Витки червяка — Утонение 4—320
 - Допуски 4—295, 316, 318—321
 - Допуски толщины червяка 4—321
 - Зацепления — Геометрический расчет 4—378, 406
 - К. п. д. 4—412
 - Смазка 4—413
 - Характеристика 4—285
- Червячные передачи глобoidные** 4—414
- Чертежи** — Буквенные обозначения 4—809
 - Изображение и обозначение резьб 4—815
 - Изображение наглядное 4—810
 - Линии и обводка 4—811, 812
 - Масштабы 4—809
 - Нанесение размеров 4—813
 - Обозначение допусков 4—811
- Обозначение отделки изделий 4—817
- Обозначение отклонений размеров 4—811
- Обозначение при штриховке 4—811
- Обозначение термической обработки 4—817
- Обозначение чистоты поверхности 4—817
- Расположение видов разрезов и сечений 4—809
- Складывание 4—809
- Условное изображение деталей машин 4—815, 816, 819
- Шрифт 4—810
- Штриховка 4—810
- Чертежи машиностроительные** 4—808—819; — Форматы 4—808
 - сборочные — Нанесение обозначений и номеров изделий 4—817
- Четырехугольники** 1—103
 - Площадь 1—106
 - Свойства 1—104
- Числа вещественные** — Действия 1—62
 - иррациональные 1—63
 - комплексные 1—62, 84, 194
 - отрицательные — Действия 1—63
 - положительные — Действия 1—63
 - приближенные 1—65
 - целые — Факториалы — Таблицы 1—41
- Численное интегрирование дифференциальных уравнений** 1—212
- Число Рейнольдса** 2—467, 485, 517
 - Фруда 2—517
 - передаточное 4—292, 321, 460
- Чистота обработки мест посадки подшипников качения** 4—234
- Чистота поверхности** — Зависимость от метода обработки 5—424—426
 - Определение — Номограммы 5—427—430
 - Улучшение калиброванием — Коэффициент 5—570
- Чистота поверхности** — Контроль — Схема 4—50; — Обозначение на чертежах 4—817; — Разряды 4—818; — Степень — Классы 4—818
 - деталей машин 4—51
 - после химико-механической обработки 5—664
 - после электроискровой обработки 5—654
 - при калибровании 5—570
 - при обкатывании 5—573
 - при разветвливании 5—571
 - при строгании на шепинге — Зависимость от вылета долбяка 5—426
 - при точении — Влияние радиуса закругления режущей части резца 5—426

- при шлифовании 5—403, 427; —
Влияние зернистости круга 5—426
- штампуемых деталей 5—164
- Чувствительность тензометров** 3—490
- фотоэлементов 2—364
- Чугаль** — Усадка 5—22
- Чугун** 6—199—245
 - Анализ 6—45
 - Время выдержки в ковше 5—51
 - Гибкость 3—320
 - Запас устойчивости 3—309
 - Испытания на изгиб 6—10
 - Коррозия 6—206, 207
 - Коэффициент вязкости 6—201
 - Коэффициент понижения допустимого напряжения на сжатие 3—320
 - Коэффициент Пуассона 3—22
 - Легирование 5—49
 - Модифицирование 5—50
 - Модуль сдвига 3—22
 - Модуль упругости 3—22; 4—124
 - Обессеривание 5—49
 - Плавка 5—40, 42, 44, 46
 - Предел выносливости 3—466, 469; 6—208
 - Прочность механическая 3—430
 - Свойства 6—199, 201—207
 - Составы для отливок в металлургические формы 5—62
 - Структура 6—200
 - Твердость 3—430
 - Термическая обработка 6—212
 - Технология производства 6—204
 - Усадка 5—21; 6—205, 230
- Чугун антифрикционный** — Применение для подшипников скольжения 4—276; — Химический состав 6—222
 - белый 5—49; 6—223, 224; — Термообработка в производстве ковкого чугуна 5—704
 - высокопрочный — Свойства 6—210, 215
 - высокопрочный с шаровидным графитом — Термообработка 5—708
 - для отбеленных отливок — Химический состав 6—228
 - жидкий — Обработка после выпуска из печи 5—49
 - ковкий 6—229; — Плавка 5—45—47; — Примеры применения 6—239; — Свойства 6—230—237
 - ковкий термитный — Термообработка — Схема 5—707
 - ковкий ферритный — Производство — Режимы термообработки 5—706
- нелегированный — Структурные составляющие — Свойства 6—200, 201
- отбеленный 6—226; — Прочность при изгибе 6—228; — Свойства 6—227
- серый — Сварка газовая 5—202; — Свойства 5—704; 6—209—213; — Твердость 5—703
- серый модифицированный — Свойства 6—216
- серый с пластинчатым графитом — Свойства 6—214
- типовой — Свойства 6—201
- Чугунное литье** — Формовочные смеси — Типовые составы 5—11
- Чугунные фланцы** — Размеры 4—753

Ш

- Шаблоны** — Допуски 5—237
 - для контроля профиля зубьев звездочек 4—423
 - для сверления монтажных отверстий 5—252
 - логарифмические 1—314
 - при производстве стальных конструкций 5—235—237
- Шаг винта** 1—286
 - втулочно-роликковых приводных цепей 4—418; — Измерение 4—423
 - втулочных цепей — Измерение 4—423
 - зацепления 1—493
 - звездочек для цепей — Определение 4—424
 - зубчатых цепей 4—421
 - рабочих зубьев протяжек 5—366
 - резьбы 4—497
 - цепей 4—426
- Шайбы** 4—567
 - контрольные 4—111
 - пружинные 4—568
- Шаржирование притиров** 5—418
- Шарики калиброванные аттестованные** 4—118, 120, 122
- Шарикоподшипники** — см. *Подшипники*
- Шарниры пластические** 3—276
- Шаровой слой** 1—110
- Шаровые пары** 1—411
- Шаровые сегменты** 1—110
- Шаровые секторы** 1—110
- Шары** 1—110; — Нагревание — Расчет 2—136
 - Обтекание 2—512
 - Охлаждение — Расчет 2—136

- Шары толстостенные под давлением** — Напряжения — Определение 3 — 227; — Напряжения температурные 3 — 228
- Шатунные болты** — Расчет 4 — 494
- Шатунные кривые** 1 — 461
- Шатуны** — Напряжения 3 — 231
- Шатуны кривошипно-шатунных механизмов** 4 — 491
- Головки — Расчет 4 — 492, 494
- Изгибающий момент 4 — 492, 493
- Коэффициент запаса устойчивости 4 — 491
- Коэффициент усиления 4 — 492
- Шатуны тихоходных паровых машин** — Запас устойчивости — Пример определения 3 — 318
- Швеллеры** 6 — 184; — Значения интегралов U_y 3 — 186; — Центр изгиба 3 — 103, 176, 178
- прокатные — Геометрические характеристики 3 — 172; 6 — 184
- Швы газосварные** — Форма 5 — 201
- заклепочные 4 — 669
- круговые — Сварка на флюсовой подушке 5 — 250
- сварные — Дефекты 5 — 254
- сварные валиковые — Минимальный катет 5 — 225
- стыковые — Сварка автоматическая — Способы 5 — 187
- угловые — Сварка в лодочку 5 — 250
- Шеверы** 5 — 385, 386
- Шевингование дисковыми шеверами** 5 — 395
- зубчатых цилиндрических колес 5 — 520
- прямозубых колес 5 — 387
- Шевинговочные полуавтоматы для обработки зубчатых колес** 5 — 521, 522
- Шези формула** 2 — 470
- Шейки ступенчатого вала** 5 — 447, 478, 479
- Шероховатость абсолютная эквивалентная стенок труб** 2 — 471
- Шестеренные насосы** 4 — 704
- Шестерни** 4 — 321; — Закалка ступенчатая 5 — 701; — Коэффициент концентрации; — Термообработка 5 — 700
- цилиндрические 5 — 482
- Шестиугольники правильные** 4 — 31, 41
- Шиманского метод расчета коэффициентов концентрации** 2 — 418
- Шины** 2 — 351, 6 — 358
- Шипы из древесины** — Соединения по ширине 5 — 616, 617
- Шифринсона формула** 2 — 471
- Шихта для фрикционных дисков** 5 — 266
- Шихтовые материалы** 5 — 40
- для ваграночного процесса 5 — 46
- для сталеварения 5 — 51
- для цветного литья 5 — 56
- Шкалы** 1 — 314, 315; — Характеристика 4 — 9
- коррозионной стойкости металлов 6 — 91
- прокаливаемости стали 6 — 122
- твердости по Роквеллу 6 — 15
- температурные 5 — 1—4
- термометров 5 — 4, 5
- электроизмерительных приборов 5 — 370
- Шкивы** — Контроль технический 5 — 517
- Обработка — Оборудование 5 — 516—518
- Производство — Технические условия 5 — 516
- Типы 5 — 515
- Шкивы клиноременные** 4 — 484; — Диаметры расчетные 4 — 485
- ленточных тормозов — Диаметры 4 — 794; — Ширины 4 — 794
- планетарные реверсивные 1 — 509
- плоскоремных передач — Окружные скорости 4 — 460
- приводных ремней — Диаметры минимальные 4 — 465; — Размеры 4 — 466
- ременных передач — Расчет 4 — 474, 475
- Шкурки шлифовальные** 5 — 403
- Шлейфы магнитоэлектрических осциллографов** 2 — 375
- осциллографов 3 — 497
- Шлицевые соединения** 4 — 587—603
- Допуски и посадки 4 — 595
- Зубья — Допускаемые напряжения на смятие 4 — 595
- Коэффициент концентрации 3 — 458
- Расчет на прочность 4 — 594
- Шлицевые соединения прямоугольные** 4 — 587, 588, 597
- треугольные 4 — 591, 594, 602, 603
- звольные 4 — 590, 592, 593, 600, 601
- Шлифовальные зерна** 5 — 395
- Шлифовальные круги** — Защитные кожухи 5 — 414
- Назначение 5 — 399—401
- Правка 5 — 407
- Проверка 5 — 414
- Прочность 5 — 413, 414
- Скорости рабочие наибольшие 5 — 406, 412, 413
- Шлифовальные круги для скоростного шлифования** — Окружные скорости наибольшие 5 — 406

- на керамической связке 5 — 405
- на фибровой основе 5 — 402
- Шлифовальные порошки** — Зернистость 5 — 395
- Шлифовальные шкурки** 5 — 403
- Шлифование** 5 — 395
- Виды 5 — 404
- Макрогеометрические погрешности 5 — 405
- Смазочно-охлаждающие жидкости 5 — 407
- Шлифование металла абразивной шкуркой** — Чистота поверхности 5 — 403
- оргстекла 5 — 616
- отделочное 5 — 422; — Режим 5 — 423
- притирочное 5 — 420, 421, 422
- скоростное наружное 5 — 411
- ступенчатых валов бесцентровое 5 — 496
- твердосплавных инструментов 5 — 648
- твердосплавных пластинок 5 — 664, 665
- шлица профильным кругом 5 — 503
- Шлицефрезерные станки для обработки зубчатых колес** 5 — 523
- Шлици** — Шлифование профильным кругом — Схема 5 — 503
- Шнур амортизационный** 6 — 359, 365
- асбестовый 6 — 365, 366
- Шпаклевка** 5 — 737
- Шпатлевки** — Характеристика 6 — 386
- Шпильки** — Длина 4 — 563
- Напряжения изгиба — Расчетная схема 4 — 528
- Посадки в корпус 4 — 540
- Размеры 4 — 562
- Шпильки фланцевого соединения паропровода** — Напряжения затяжки — Пример определения 3 — 293
- Шпигдель** — Крутящий момент действующий — Расчет 4 — 743
- Шпильки** 4 — 568
- Шпонки** — Напряжения допускаемые 4 — 584
- Расчет на прочность 4 — 574
- Типы 4 — 574, 575
- Ширина — Допускаемые отклонения с пазами соединений 4 — 585
- Шпонки клиновые** 4 — 574, 577—579
- на лыске — Рабочие грани — Эпюры нагружения 4 — 579
- призматические 4 — 574; — Размеры 4 — 580—582; — Расчет 4 — 583
- сегментные 4 — 574, 575; — Размеры 4 — 583; — Расчет 4 — 583
- тангенциальные 4 — 574; — Расчет 4 — 580
- торцевые — Расчет 4 — 583
- фрикционные 4 — 574, 579
- Шпоночные соединения** 4 — 574—586
- Допуски и посадки 4 — 584, 585
- Шприцы штоковой смазки** 4 — 710
- Шрифты чертежные** 4 — 810
- Штаермана метод определения изгибных напряжений для оболочек вращения** 3 — 207
- Штамповка** 5 — 114; — Технология 5 — 89—179
- болтов многооперационная 5 — 177
- в открытых штампах на кривошипных прессах 5 — 120
- винтов 5 — 172
- выдавливанием 5 — 121
- горячая — Температурные интервалы 5 — 100; — Термический режим 5 — 99
- деталей из термопластмасс 5 — 601
- клапанов на кривошипных прессах — Схема 5 — 121
- листовая 5 — 136; — Сборочные приемы 5 — 155; — Технология 5 — 138, 147
- на винтовых фрикционных прессах 5 — 126
- на гидравлических прессах 5 — 127
- на горизонтально-ковочных машинах 5 — 121, 123
- на кривошипных прессах 5 — 119—121
- на молотах 5 — 113
- объемная 5 — 89; — Удельное давление 5 — 165
- поковок 5 — 94, 96, 97, 99
- прошивкой 5 — 121
- пустотелых колец 5 — 155
- сложных деталей объемная 5 — 176
- цветных сплавов 5 — 136
- Штамповочная вальцовка** 5 — 132
- Штампо-сварные детали** 5 — 157
- Штампы** 5 — 94; 6 — 162
- вытяжные — Схемы 5 — 145, 146
- для листовой штамповки 5 — 147
- закрытые — Схема 5 — 94
- к горизонтально-ковочным машинам 5 — 124, 125
- калибровочные 5 — 135, 136
- ковочные и чеканные 5 — 658
- комбинированные 5 — 133
- молотовые 5 — 116; — Крепление 5 — 119
- Штангенглубиномеры** 4 — 10, 11
- Штангенинструменты** 4 — 10
- Штангенрейсмусы** 4 — 10, 11
- Штангенциркули** 4 — 10

Штативные камеры 2—245, 248
 Штемпели — Диаметры 5—240
 Штифты 4—569, 570
 Штихмасы 4—109, 112
 Штоки — Уплотнение 4—727
 Штриховка в чертежах 4—810
 Штриховые меры 4—8
 — Поверка 4—44
 — Характеристика 4—9
 Штурма теорема 1—123
 Шум — Влияние на восприятие речи
 2—258
 — Воздействие на организм человека
 2—258
 — Измерение 2—258
 — Понижение 2—266
 — Спектры 2—264, 265
 Шум вентиляционный — Глушение 2—267
 — выхлопа — Глушение 2—268
 Шуомеры 2—258
 Шунтовые машины — см. *Машины постоянного тока с параллельным возбуждением*
 Шурупы 3—570, 571, 572

Щ

Щека колена вала 3—358
 Щели — Гидравлический расчет 2—482
 — радиально-кольцевые 2—492
 — радиальные 2—492
 Щелочные аккумуляторы 2—359, 360
 Щетки графитовые 6—323
 Щеточные аппараты 2—382
 Щиты из древесины — Соединения под углом 5—616, 617

Э

Эбонит 6—357
 Эвольвента 1—270
 — окружности 1—270, 272, 276, 278; — Построение 1—277
 Эвольвентные винтовые поверхности 1—299
 Эвольвентные зацепления 1—493; 4—293
 Эвольвентные шлицевые соединения — см. *Шлицевые соединения эвольвентные*
 Эволюта гипоциклоиды 1—281
 — кривой 1—269
 — логарифмической спирали 1—270, 276
 — циклоиды 1—270
 Эйлера интегралы 1—178
 — метод изучения движения жидкости 2—503

— подстановки 1—160
 — постоянная C 1—135
 — способ решения дифференциальных уравнений 1—211
 — теорема 1—389; 2—506
 — углы i —250
 — уравнение 1—216; 398; 2—505
 — формула 1—103; 3—208
 Эквидистантные эвольвенты окружности 1—278
 Эксплуатация цепных передач 4—431
 Экстремум 1—147, 148
 Эксцентрики круговые зажимные 5—484
 Эксцентриситеты эллипсов 1—243
 Электрическая аппаратура 2—433—448
 Электрические генераторы 2—378
 Электрические датчики 1—416 3—489
 Электрические печи 5—47, 48, 59
 Электровысадка — Удельные давления 5—165
 — деталей 5—178
 Электродвигатели 2—393—409
 Электрододержатели 5—210
 Электроды для атомно-водородной сварки 5—219
 — металлические 5—181
 — с толстым покрытием для дуговой сварки и наплавки 5—182
 Электроды-инструменты 5—655, 656
 Електроемкостные приборы 4—31
 Электроизмерительные приборы 4—25
 — Характеристика 4—30
 Электровиндуктивные приборы 4—26
 Электронскровая обработка металлов 5—649, 655
 Электронские станки — Схемы 5—650, 651
 Электроконтактные датчики 4—25; — Характеристика 4—30
 Электролитические покрытия 5—728
 Электролитическое осаждение металлов — Продолжительность 5—726
 Электролиты для полирования 5—638
 Электромагнитные жидкостные муфты 4—207
 Электромагниты 6—74
 Электронагрев заготовок контактный — Напряжение и мощность 5—102, 103
 — при высадке — Схема 5—178
 Электронит 6—349
 Электрообработка металлов 5—634—665
 Электроотрицательность атомов 2—273
 Электрополирование металлов 5—634; — Показатели 5—640; — Режимы 5—639; — Технологические процессы 5—634, 637
 — толстых покрытий 5—730

- Электроприборы измерительные динамических перемещений 3 — 380
 Электропривод 2 — 410—432
 Электропроводность древесины 6 — 334
 — электролитов 2 — 354
 Электросварные швы 4 — 663
 Электросепарация формовочных смесей 5 — 18
 Электросопротивление чистых металлов 2 — 316, 317
 Электросталеплавильные печи — Характеристика 5 — 54
 Электросхемы для обеспечения работы смазочных устройств 4 — 713, 715
 Электротехника 2 — 328—448
 Электротехнические материалы 2 — 343
 Электроупрочнение 5 — 663
 Электрохимический эквивалент 4 — 356
 Электрощетки — Характеристика 6 — 323
 Элемент Даниеля 2 — 356
 — Лекланше 2 — 356
 Элементарные функции 1 — 87—114
 Элементные схемы — Графические символы 2 — 438
 Элементы водоналивные 2 — 356
 Элементы конструкций — Расчет на колебания 3 — 353
 — движущиеся — Расчет 3 — 229—270
 Элементы химические — Давления паров 2 — 321
 — Периодическая система 2 — 269, 270
 — Свойства 2 — 280, 282
 — Соединения важнейшие 2 — 280, 282
 — Температуры плавления и испарения 2 — 295
 — Теплоты плавления и испарения 2 — 295
 — Число электронов 2 — 274
 Эллипс — Момент инерции 2 — 458; — Центр тяжести 2 — 458
 Эллипсоид напряжений 3 — 9
 Эллипсоиды 1 — 111, 255; — Напряжения касательные при изгибе 3 — 88; 1 — 111, 225; 3 — 9
 — инерции 3 — 39
 — полюсе — Геометрические характеристики 3 — 43
 — сплошные — Геометрические характеристики 3 — 42
 Эллиптические интегралы — Таблицы 1 — 59
 Эллиптические конусы усеченные — Объем 1 — 111
 Эллиптические параболоиды — Уравнения 1 — 256
 Эллиптические секторы — Площадь 1 — 107
 Эллиптические точки поверхности 1 — 296
- Эллиптические цилиндры — Уравнения 1 — 256
 Эмали 6 — 374
 Эмиссия 2 — 360
 Энергетические единицы — Перевод одних в другие 1 — 544
 Энергетический метод определения частот собственных колебаний 3 — 334
 Энергия внутренняя 2 — 42
 — деформации изгиба 3 — 95
 — ионных кристаллических решеток 2 — 294
 — кинетическая 1 — 387; — Потеря — Теорема 1 — 403; — Потеря на удар — Теорема 2 — 506; — Теорема 1 — 387, 401; — Уравнения 1 — 397
 — кинетическая систем — Теорема 1 — 390
 — магнитного поля 2 — 334
 — потенциальная 1 — 367
 — потенциальная вала 3 — 28
 — потенциальная кривых брусьев 3 — 115
 — свободная 2 — 43
 — свободная образования химических соединений 2 — 304
 — связей двухатомных молекул 2 — 280
 — тока активная — Измерение 2 — 374
 — упругих деформаций 3 — 13
 — электрического поля конденсаторов 2 — 331
 Энтальпия 2 — 43
 — азота 2 — 20, 21
 — ацетилена 2 — 34
 — бензола 2 — 35
 — бутадиена 2 — 34
 — влажного воздуха 2 — 10, 11
 — водорода 2 — 23
 — водяного пара 2 — 31
 — воды 2 — 72
 — воздуха 2 — 22
 — газов 2 — 19—35
 — гидроксильной группы OH 2 — 26
 — закисы азота 2 — 28
 — идеального газа 2 — 519
 — кислорода 2 — 19
 — метана 2 — 32
 — окиси азота 2 — 25
 — окиси углерода 2 — 24
 — пара во влажном воздухе 2 — 108, 111
 — перегретого пара 2 — 72
 — пропана 2 — 33
 — пропилена 2 — 35
 — ртутного пара 2 — 96
 — сернистого ангидрида 2 — 29
 — сероводорода 2 — 29

- сероокиси углерода 2—30
 — сероуглерода 2—30
 — углекислого газа 2—27
 — этана 2—32
 — этилена 2—33
 — этилового спирта 2—36
Энтродия азота 2—20, 21
 — ацетилену 2—34
 — бензола 2—35
 — бутадиина 2—34
 — воды 2—72
 — водорода 2—23
 — водяного пара 2—31
 — воздуха 2—22
 — газов 2—19—35
 — гидроксильной группы ОН 2—26
 — закиси азота 2—28
 — идеального газа 2—520
 — кислорода 2—19
 — метана 2—32
 — окиси азота 2—25
 — окиси углерода 2—24
 — перегретого пара 2—72
 — пропана 2—33
 — пропилену 2—35
 — ртутного пара 2—96
 — сернистого ангидрида 2—29
 — сероводорода 2—29
 — сероокиси углерода 2—30
 — сероуглерода 2—30
 — углекислого газа 2—27
 — этана 2—32
 — этилена 2—33
 — этилового спирта 2—36
Эпициклоиды 1—279, 280
Эпициклоиды-рулетты 1—279
Эпюры — Сложение 3—54
 — бимоментов тонкостенных стержней при сложном сопротивлении 3—181
 — изгибающих моментов в балках 3—51
 — касательных напряжений в сечениях витков заеволненных пружин 4—641, 642
 — моментов, продольных и поперечных сил — Построение 3—150
 — нагружения рабочих граней шпонков 4—579
 — наибольших изгибающих моментов в простой балке 3—78, 79
 — напряжений 3—20
 — напряжений при автоскреплении труб 3—288
 — напряжений растянутых брусьев 3—283
 — напряжений растянутых пластинок 3—283
 — нормальных напряжений заеволненной плоской спиральной пружины 4—649
 — остаточных напряжений 3—287
 — остаточных напряжений при сварке 4—666, 667
 — поперечных сил в балках 3—51
Этан — Свойства 2—32, 97, 102
Этен — см. *Этилен*
Этилен — Свойства 2—33, 97, 102
Этиловый спирт 2—36
Этилцеллюлоза 6—350
Этин — см. *Ацетилен*
Этролы 6—350
Эффект гироскопический 1—399
Эффект Джоуля — Томсона 2—92
Эффективный коэффициент концентрации 3—403
Эхо 2—262

Я

- Якори** 2—381, 382
Яновского метод 3—244
Ярды — Перевод в метры 1—540
Яркость источников света 2—225
Ящики стержневые 5—31

СПРАВОЧНИК МАШИНОСТРОИТЕЛЯ. том 6.

Технический редактор Г. Ф. Соколова

Корректоры: Ц. И. Будницкая и О. И. Семенова

Переплет художника А. Л. Бельского

Подписано к печати 15/III 1956 г.

Т-08029.

Тираж 25 001-50 000 (2-завод)

Печ. л. 32,25 (1 вкл., 2 наклейки).

Уч.-изд. л. 53.

Бум. л. 16,13.

Формат 60×92/16.

Зак. № 968.