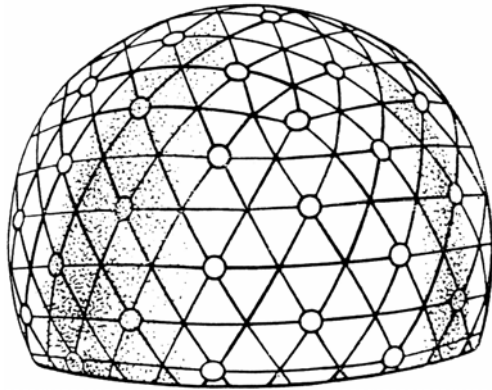


**С.И. КОРЯГИН  
И.В. ПИМЕНОВ, В.К. ХУДЯКОВ**

# **СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ**



**Калининград  
2000**

**С.И. КОРЯГИН  
И.В. ПИМЕНОВ, В.К. ХУДЯКОВ**

# **СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ**

Рекомендовано Министерством образования  
Российской Федерации в качестве учебного  
пособия для студентов высших учебных  
заведений технических специальностей

Калининград  
2000

УДК 678.5.046.364

Корягин С.И., Пименов И.В., Худяков В.К. Способы обработки материалов: Учебное пособие / Калинингр. ун-т – Калининград, 2000. – 448 с. – ISBN 5-88874-152-3.

Изложены способы обработки конструкционных материалов, приводятся основные сведения из области применения материалов в различных отраслях техники, а также об изготовлении изделий из них.

Предназначено студентам механических факультетов вузов, а также инженерам и работникам научно-исследовательских институтов.

*Авторы:* зав. кафедрой машиноведения Калининградского государственного университета, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, доктор технических наук, профессор, член Московской академии естествознания С.И. Корягин; кандидат технических наук, доцент кафедры машиноведения Калининградского государственного университета В.К. Худяков; заместитель главы администрации Калининградской области, член Российской академии естественных наук И.В. Пименов.

*Рецензенты:* доктор технических наук, профессор Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, член Московской академии естествознания Р.К. Вафин; доктор технических наук, профессор Московского университета пищевых производств Ф.В. Долинский.

ISBN 5-88874-152-3

© С.И. Корягин, И.В. Пименов,  
В.К. Худяков, 2000

**Сергей Иванович Корягин  
Иван Владимирович Пименов  
Владимир Константинович Худяков**

**СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ**

Учебное пособие

Лицензия №020345 от 14.01.1997 г.

Редакторы Л.Г. Ванцева, Н.Н. Мартынюк

Технический редактор Л.Г. Владимирова

Корректор Н.Н. Николаева

Оригинал-макет подготовлен И.А. Хрустальевым, А.В. Раковым

Подписано в печать 2.02.2000 г. Формат 60 x 90 1/16.

Бумага для множительных аппаратов.

Усл. печ. л. 28,0. Уч.-изд. л. 28,2. Тираж 500 экз. Заказ .

Калининградский государственный университет,  
236041, г. Калининград, ул. А.Невского, 14

Отпечатано в ГИПП «Янтарный сказ», 236000,  
г. Калининград, ул. К.Маркса, 18.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b> .....	7	металлов	99
<b>Раздел I. Основные сведения о материалах</b> .....	9	4.2. Керамика.....	103
Глава 1. Металлы и их свойства.....	9	4.3. Углеграфитные материалы.....	109
1.1. Стали и чугун.....	9	4.4. Минеральные вяжущие вещества и изделия на их основе.....	114
1.2. Алюминий и его сплавы.....	31	Глава 5. Древесные материалы.....	122
1.3. Медь и ее сплавы.....	38	5.1. Натуральные древесные материалы.....	122
1.4. Олово, свинец и их сплавы.....	44	5.2. Композиционные древесные материалы.....	127
1.5. Прочие металлы (магний, титан, цинк, кадмий) ....	46	Глава 6. Клеящие, лакокрасочные и травильные материалы.....	130
Глава 2. Полимеры и материалы на их основе.....	52	6.1. Клеящие материалы.....	130
2.1. Термопластичные полимеры.....	52	6.2. Состав и обозначение лакокрасочных материалов	135
2.2. Термореактивные полимеры.....	60	6.3. Маслосодержащие лакокрасочные материалы.....	139
2.3. Композиционные материалы с волокнистыми наполнителями.....	62	6.4. Смоляные лаки и эмали.....	141
2.4. Композиционные материалы со слоистыми наполнителями.....	70	6.5. Травильные материалы.....	145
2.5. Композиционные материалы с газообразными наполнителями.....	74	<b>Раздел II. Обработка материалов</b> .....	149
2.6. Металлополимерные каркасные материалы.....	78	Глава 7. Обработка материалов резанием.....	149
Глава 3. Резиновые материалы «герметики и компаунды».....	81	7.1. Материалы для режущих инструментов.....	149
3.1. Натуральный и синтетический каучуки.....	81	7.2. Элементы режима резания.....	154
3.2. Наполнители, пластификаторы и вулканизирующие агенты резин.....	85	7.3. Образование обработанной поверхности и стружки.....	158
3.3. Резины общего и специального назначения.....	87	7.4. Станки для обработки материалов резанием.....	161
3.4. Герметики.....	90	Глава 8. Обработка металлов и их сплавов резанием.....	169
3.5. Компаунды.....	95	8.1. Обработка сталей и чугунов резанием.....	169
Глава 4. Неорганические материалы.....	99	8.2. Обработка алюминия и его сплавов резанием.....	178
4.1. Неорганические стекла и эмали для защиты		8.3. Обработка титана и его сплавов резанием.....	188
		8.4. Обработка магния и его сплавов резанием.....	192
		8.5. Обработка тугоплавких материалов резанием.....	194
		Глава 9. Обработка неметаллических материалов резанием.....	197
		9.1. Обработка материалов на основе полимеров.....	197

9.2. Обработка древесных материалов.....	210	14.2. Паяльные припои и флюсы.....	366
9.3. Обработка неорганических материалов.....	216	14.3. Оборудование для пайки.....	376
Глава 10. Обработка материалов давлением и прессованием.....	220	14.4. Особенности пайки различных материалов.....	385
10.1. Способы обработки материалов давлением и прессованием.....	220	Глава 15. Склеивание и окраска материалов.....	391
10.2. Обработка металлов.....	231	15.1. Подготовка материалов к склеиванию и окраске.....	391
10.3. Обработка полимерных материалов.....	242	15.2. Факторы, определяющие прочность склеивания и окраски.....	395
10.4. Обработка резиновых материалов.....	249	15.3. Нанесение клея и формирование клеевого слоя...	398
10.5. Обработка неорганических материалов.....	253	15.4. Нанесение лакокрасочных покрытий.....	401
10.6. Обработка древесных материалов.....	258	<b>Раздел III. Основы безопасности при обработке материалов.....</b>	<b>408</b>
Глава 11. Механическая, термическая, химическая и гальваническая обработка материалов.....	263	Глава 16. Техника безопасности при обработке материалов.....	408
11.1. Механическая обработка материалов.....	263	16.1. Техника безопасности при обработке материалов.....	408
11.2. Обезжиривание материалов.....	268	16.2. Техника безопасности при химической и гальванической обработке материалов.....	414
11.3. Гальваническая обработка металлов.....	274	16.3. Техника безопасности при сварке и пайке материалов.....	418
11.4. Термическая и химико-термическая обработка металлов.....	292	16.4. Техника безопасности при обработке материалов давлением и прессованием.....	423
Глава 12. Физико-химические методы обработки.....	317	16.5. Техника безопасности при склеивании и окраске.....	427
12.1. Электроэрозионные (электроразрядные) методы обработки.....	320	16.6. Охрана окружающей среды.....	436
12.2. Электрохимические методы обработки (ЭХО).....	327	<b>Список рекомендуемой литературы.....</b>	<b>440</b>
12.3. Ультразвуковые методы механической обработки.....	330		
12.4. Лучевые методы размерной обработки.....	334		
Глава 13. Сварка материалов.....	340		
13.1. Способы сварки материалов.....	340		
13.2. Сварочное оборудование.....	343		
13.3. Сварка металлов.....	351		
13.4. Сварка полимерных материалов.....	356		
Глава 14. Пайка материалов.....	359		
14.1. Способы пайки материалов.....	359		

Вафину и Ф.В. Долинскому – за ценные замечания, советы и активное сотрудничество в процессе нашей работы над учебным пособием.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Обработка материала предусматривает придание ему необходимых размеров, формы, определенных свойств и включает в себя широкий класс следующих процессов: резание, шлифование, давление, прессование, термообработка, склеивание, пайка, сварка, оксидирование, сплавление, травление, электролиз, глубинное и поверхностное закаливание, обработка взрывом, водоструйная и пескоструйная обработка, обработка токами высокой частоты, растворение, окрашивание и др.

В период бурного развития техники и технологий будущему специалисту необходимо знать всю гамму этих процессов для грамотного выбора того или иного технологического процесса обработки различных материалов.

Традиционные и современные технологии обработки материалов описаны достаточно глубоко во многих книгах и учебниках. Однако значительная загруженность студентов не позволяет им охватить большое количество литературы, так как в каждой отдельно взятой книге, учебнике или учебном пособии описан один или несколько процессов обработки. Это затрудняет освоение студентами дисциплины «Способы обработки материалов».

Содержание учебного пособия соответствует программе курса «Основы материаловедения, технологии и обработки конструкционных материалов», утвержденной Министерством образования Российской Федерации.

Авторы отдают себе отчет в том, что их знания по способам обработки материалов не являются идеальными и что не всё в учебном пособии изложено в лучшей форме. Поэтому они были бы благодарны читателям за все ценные замечания, улучшающие и дополняющие содержание учебного пособия.

В заключение авторы считают своим долгом выразить глубокую благодарность рецензентам – докторам технических наук, профессорам Р.К.

## Раздел I ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О МАТЕРИАЛАХ

### Глава 1. МЕТАЛЛЫ И ИХ СВОЙСТВА

#### 1.1. Стали и чугун

**Сталь** – сплав железа с углеродом и неизбежными примесями марганца (0,3...0,7%), кремния (0,2...0,4%), фосфора (0,01...0,05%), серы (0,01...0,05%) и скрытых примесей (кислорода, водорода и азота), присутствующих в сталях в очень малых количествах. Обычные сорта стали, применяемые в машиностроении, содержат от 0,05 до 1,5% углерода. Для изменения свойств стали в нее добавляются специальные примеси (легирующие элементы), в качестве которых выступают в различной пропорции: хром, никель, молибден, вольфрам, ванадий, титан, алюминий, марганец, кремний, бор. Режимы закалки и отпуска очень сильно влияют на структуру стали в отвержденном состоянии, из-за чего свойства стали резко изменяются.

Стали подразделяются на: углеродистую (обычного качества, специального назначения, качественная), низколегированную, легированную, для холодной листовой штамповки и высадки, рессорно-пружинную, для прокатных валков, отливок.

К стали обыкновенного качества (табл. 1) относится строительный и конструкционный металл с содержанием углерода до 0,62%, при производстве которого обычно не предъявляется никаких требований к составу шихты, процессам плавки и разлива.

*Таблица 1*

#### Назначение углеродистой стали обыкновенного качества

Марка	Назначение
Ст. 0	Неответственные нерассчитываемые элементы конст-

рукций: настилы, ограждения, лестничные марши, арматура и т. д.

Ст. 1	Связевые соединения, требующие высокой вязкости и низкой твердости, анкерные болты, жесткие связи, неответственная арматура и т. д.
Ст. 2	Элементы сварных конструкций неответственного назначения, оконные и фонарные переплеты, заклепки, анкерные болты. После цементации и нитроцементации для неответственных деталей, работающих на трение с незначительной нагрузкой
Ст. 3	<p>В <i>горячекатаном состоянии</i> – для строительных и других расчетных металлических конструкций, подвергаемых сварке в виде сортового, фасонного и листового проката: балки, фермы, обечайки, днища, конструкции подъемных кранов, корпуса сосудов и аппаратов, работающих под давлением, каркасы паровых котлов</p> <p><i>Цементируемые и цианируемые детали</i>, от которых требуются высокая твердость поверхности и невысокая прочность сердцевины: валики, поршневые пальцы, толкатели, шестерни, червяки и т. д. Детали, изготавливаемые холодной штамповкой при требовании глубокой вытяжки</p>
Ст. 4	<p>В <i>горячекатаном состоянии</i> – в сварных, клепаных и болтовых конструкциях повышенной прочности в виде сортового, фасонного и листового проката, а также для мало нагруженных деталей: валы, оси шестерни, втулки, вкладыши, рычаги, гайки, шайбы, серьги, хомуты, червяки другие детали как в термически необработанном, так и в улучшенном состояниях. Цементируемые и цианируемые детали, от которых требуются высокая твердость поверхности и невысокая прочность сердцевины: валики, поршневые пальцы, упоры, толкатели, шестерни, червяки и т. д.</p>

*Окончание табл. 1*

Марка	Назначение
Ст. 5	Арматура, крюки кранов, детали машин, подвергаемые воздействию небольших напряжений: болты, гайки, валы, оси, звездочки, рычаги, тяги, арматура, серьги рессор, упоры подшипников и другие детали как в горячекатаном, так и в термически обработанном состояниях
Ст. 6	Детали повышенной прочности: оси, валы, клинья, тяги, фланцы, стяжные кольца, пальцы траков, зубья бараба-

	нов молотилок и другие детали сельскохозяйственного машиностроения в термически обработанном состоянии
Ст. 7	Средненагруженные детали, подвергаемые повышенному износу: рессоры, пружины, валы, шестерни, червяки, звездочки, пальцы траков и другие детали в термически обработанном состоянии

Применение стали специального назначения и качественной стали представлено в табл. 2 и 3.

Таблица 2

### Применение углеродистой стали специального назначения

Марка	Назначение
<i>Сталь для котлостроения и сосудов, работающих под давлением</i>	
15К, 20К, 22К, 2КГ	Обечайки, фланцы, днища, цельнокованные и сварные барабаны паровых котлов, корпуса и горловины сепараторов, полумуфты, корпуса аппаратов и другие детали
<i>Сталь для мостостроения</i>	
М16С	Сварные мостовые конструкции
Ст.3 мост.	Клепанные мостовые конструкции
<i>Автоматная сталь</i>	
А12 и А20	Винты, болты, кольца, втулки, оси, шпильки, гайки; мелкие детали швейных, текстильных, счетных, пишущих машин и приборов; другие неотчетственные мало нагруженные детали сложной конфигурации

Окончание табл. 2

Марка	Назначение
А30 и А40Г	Оси, валики, втулки, кольца, шестерни, пальцы, винты, болты, гайки и другие детали, работающие при повышенных напряжениях и давлениях Сталь марки А40Г применяется для изготовления ходовых винтов металлорежущих станков

Таблица 3

### Назначение углеродистой качественной стали

Марка	Назначение
08; 08кп, 10; 10кп	<i>Без термической обработки</i> – трубки, прокладки, шайбы, бачки, корпуса, диафрагмы, капоты тракторов, заклепки, кожуха, ушки, диски, коромысла, ленты тормозов, крышки, муфты, шпильки, пальцы и другие детали высокой пластичности общего машиностроения. <i>После цементации и цианирования</i> – втулки, ушки, коромысла клапана крана автомобиля, оси звеньев цепи, вкладыши и другие детали, от которых требуются высокая поверхностная твердость и низкая прочность сердцевины
15, 15кп, 20, 20кп, 25	<i>Без термической обработки после нормализации</i> – элементы трубных соединений, корпуса и клапаны холодильных аппаратов, патрубки, трубные пучки теплообменных аппаратов и другие детали котлотурбостроения <i>После цементации и цианирования</i> – детали, от которых требуются высокая поверхностная твердость и невысокая прочность сердцевины: детали автотракторного, сельскохозяйственного и общего машиностроения
30 и 35	<i>Без термической обработки</i> – оси, рычаги, тяги, фланцы, валики и другие мало нагруженные детали <i>После закалки и низкого отпуска (HRC 30...40)</i> – валики, винты, штифты, упоры, кольца, шайбы, оси, траверсы и другие мелкие детали, к которым предъявляются требования повышенной прочности, а также
Марка	Назначение
	сварные детали, подвергаемые термической обработке (гидроцилиндры и др.) <i>После нормализации или закалки и высокого отпуска</i> – тяги, оси, цилиндры, колонны прессов, коленчатые валы, шатуны, крепежные детали, шпиндели, звездочки, тяги, подушки, ободья, серьги, траверсы, валы, бандажи, цилиндры прессов и др. <i>После жидкостной цементации</i> – установочные и крепежные винты, гайки, звездочки, штифты, диски,

Продолжение табл. 3

	шпиндели, втулки, соединительные муфты, оси, серьги, рычаги и другие детали станков, к которым предъявляются требования высокой поверхностной твердости
40 и 45	<p><i>После закалки и отпуска (HRC 40...50)</i> – детали средних размеров несложной конфигурации, к которым предъявляются требования повышенной прочности и твердости, работающие без ударных нагрузок: ролики, валики, цапфы, втулки, муфты, фрикционные диски, собачки, шпонки, храповики, заглушки, звездочки, штуцера, рычаги и др.</p> <p><i>После улучшения</i> – детали, работающие при небольших скоростях и средних удельных давлениях: шестерни, валы, работающие в подшипниках качения, шлицевые валики, втулки зубчатых муфт, оси, бандажки, шлицевые валики, коленчатые, распределительные и шестеренные валы, зубчатые венцы маховиков, штоки, шпиндели, траверсы, плунжеры, болты, пальцы и звенья траков тракторов, арматура насосов, шатуны, хвостовики, цилиндры, коромысла, диски сцепления, валы шахтно-подъемных машин, оправки и другие детали</p> <p><i>После поверхностного упрочнения с нагревом т.в.ч.</i> – детали средних и крупных размеров, к которым предъявляются требования высокой поверхностной твердости и повышенной износостойкости при малой деформации: шестерни, валы, работающие в подшипниках скольжения при средней окружной скорости и др.</p>

Продолжение табл. 3

Марка	Назначение
50 и 55	<i>После нормализации с отпуском и закалки с отпуском</i> - шпиндели, валы, венцы, цапфы, бандажки, коленчатые валы, эксцентрики, шестерни, муфты, штоки, плунжеры, корпуса форсунок, шестеренные валы, молотки, диски, отвалы, рессоры, пружины, оси сателлитов, коленчатые и распределительные валы, валы заднего моста, муфты сцепления коробок передач, коромысла толкателей клапана, толкатели клапанов, шатуны, поршневые пальцы, венцы маховиков, пальцы тра-

60, 65, 70, 75, 80 и 85	Круглые и плоские пружины различных размеров, пружины клапанов двигателя автомобиля, пружины амортизаторов и пр., рессоры, замковые шайбы, диски сцепления, эксцентрики, шпиндели, регулировочные прокладки и другие детали, работающие в условиях трения и под действием статических и вибрационных нагрузок, а также прокатные валки (сталь марки 60), рессоры, пружины и бандажки трамвайных вагонов (сталь марки 70), крановые колеса (сталь марки 75), диски сцепления, выпускные клапаны компрессора и другие детали (сталь марки 85)
15Г, 20Г и 25Г	<p><i>Без термической обработки</i> – трубки, втулки, штуцера, вкладыши, шайбы, подmotorные рамы, башмаки, косынки, сварные трубы и другие детали.</p> <p><i>После улучшения</i> – для заклепок ответственного назначения.</p> <p><i>После цементации или цианирования</i> – фрикционные диски, поршневые пальцы, втулки, пальцы рессор, вилки, тяги, кулачковые валики, болты, гайки, винты, ключи, шайбы, шестерни, червяки и другие малоответственные детали, от которых требуются высокая поверхностная твердость и невысокая прочность сердцевины</p>

Окончание табл. 3

Марка	Назначение
30Г, 35Г, 40Г, 45Г, 50Г	Распределительные валики, болты, шпильки, вилки переключения скоростей, валики водяных насосов, диски трения, шестерни, пальцы звеньев гусениц, валы муфт сцепления, венцы и ободы маховиков, шатуны, тормозные рычаги, оси катков и направляющих колес, полуоси, шлицевые, шестеренные и карданные валы, анкерные болты и другие детали автотракторного и общего машиностроения, а в холодотянутом состоянии – болты и гайки высокой прочности
60Г, 65Г, 70Г	Плоские и круглые пружины, рессоры, пружинные кольца, шайбы Гровера, подающие и зажимные цапги, упорные и стопорные кольца и другие детали пружин-



ного типа, от которых требуются высокие упругие свойства и износостойкость; бандажы, тормозные барабаны, скобы, тормозные ленты, детали трансмиссий и дробильных машин, втулки, лопатки вентилятора, погоны и другие детали общего и тяжелого машиностроения, зубья борон, лапы культиваторов, шайбы замковые, лапы полольные, лемехи, ножи, звенья цепи элеватора, щеки сошника, кронштейны и другие детали сельскохозяйственного машиностроения

Низколегированная сталь обладает по сравнению с углеродистой сталью повышенной прочностью, пониженной склонностью к старению, хорошей свариваемостью, повышенной износостойкостью и коррозионной стойкостью в различных газоздушных средах, морской воде и др. Применение низколегированной стали представлено в табл. 4, легированной стали – в табл. 5.

Таблица 4

**Применение низколегированной стали**

Марка	Назначение
<i>Марганцовистая</i>	
14Г	Детали из круглого, квадратного и полосового проката, а также уголки, балки двутавровые, швеллерные и фасонные, предназначенные для машиностроения и строительства

Продолжение табл. 4

Марка	Назначение
19Г	Сварные магистральные нефтегазопроводы высокого давления диаметром до 820 мм при толщине стенки 6...9 и 9...15 мм. При испытании на растяжение в области температур до -70°С не снижает пластические свойства и, следовательно, не проявляет склонности к хрупкому разрушению. При -196°С пластичность стали значительно снижается
09Г2	Детали листовых и сварных конструкций вагонов, доменных печей, воздухонагревателей, аппаратов химического и нефтяного машиностроения, работающих под давлением и при температурах до +450°С. Сталь не склонна к тепловой хрупкости и

14Г2	Крупные листовые сварные конструкции больших доменных печей, пылеуловителей, воздухонагревателей и др. Сталь не снижает пластические свойства до -70°С, при -196°С пластичность резко снижается
18Г2	Не склонна к отпускной хрупкости, не флокеночувствительна, имеет повышенную стойкость против коррозии в атмосферных условиях
<i>Кремнемарганцевая</i>	
12ГС	Различные детали сельскохозяйственных машин и автомобилей, изготовляемых методом холодной штамповки (гибкой, вытяжкой), трубы паропроводные высокого давления
16ГС, 17ГС	Корпусы аппаратов, днища фланцы и другие детали паровых котлов и сосудов, а также различные детали, работающие под давлением при температурах от -40 до +475°С

Окончание табл. 4

Марка	Назначение
09Г2С	Аппараты и воздухохранилища в химическом и нефтяном машиностроении, работающие под давлением при температурах от -70° до +475°С; детали экскаваторов, листовые сварные конструкции в котлостроении, детали вагоностроения, различные металлоконструкции и ответственные детали
10Г2С1	Конструкции повышенной прочности, работающие при отрицательных температурах
20Г2С	Оси, кулачки, карданные и трансмиссионные валы, ответственные тяжелонагруженные сварные узлы сельскохозяйственных машин. Хорошо сваривается
25ГС	Сварные валы гидротурбин, сварные цилиндры, плиты гидропрессов
18Х2С,	Арматура гладкого и периодического профиля,

25Г2С, 35ГС, 20ХГ2Ц, 80С	предназначенная для армирования железобетонных конструкций
<i>Хромокремнемарганцевая</i>	
14ХГС	Электросварные трубы для магистральных газопроводов высокого давления
<i>Хромокремненикелевая</i>	
10ХСНД	Сварные конструкции, аппараты и сосуды химической промышленности, детали судостроения и др.
15ХСНД	Сварные и клепаные строительные фермы, рамы сельскохозяйственных машин, конструкции зданий и сооружений
<i>Марганцевованадиевая</i>	
15ГФ	Листовые сварные конструкции вагоностроения. Сталь хорошо сваривается. Штампуемость удовлетворительная

Таблица 5

#### Назначение легированной конструкционной стали

Марка	Назначение
15Х, 15ХА, 15ХР, 15ХРА, 20Х и 20ХР	Поршневые пальцы, мелкие шестерни, оси, толкатели, кулачковые муфты, втулки, направляющие планки, шпиндели, плунжеры, оправки, червячные валы, копиры, поршневые кольца, упорные диски и др.
30Х, 30ХРА, 35Х, 35ХРА	Оси, валы, шестерни, пальцы, втулки, болты, оправки и другие детали в общем машиностроении
38ХА, 40Х, 40ХРА	Оси, валы, шестерни, пальцы, втулки, шатуны, шатунные болты и гайки, фланцы, рычаги, пиноли, шпиндели, оправки, впускные клапаны, червячные валы, рейки, муфты, кривошипы, полуоси, фрикционные диски, штоки и др., детали в автотракторном и общем машиностроении; роторы турбокомпрессоров, коленчатые валы, турбинные диски, соединительные муфты – в турбостроении; высокопрочные трубы – в нефтеперерабатывающем машиностроении; баллоны большой емкости, работающие

45Х, 45ХЦ и 50Х	Оси, валы, шестеренчатые валы, кольца, шестерни, втулки, патроны для протягивания, пальцы и другие детали, работающие на истирание без значительной ударной нагрузки. Сталь марки 50Х – валки горячей прокатки, оси, валы, крупные шестерни, редукционные валы, упорные кольца и др.
10Г2	Патрубки, змеевики, трубные пучки, крепежные детали, фланцы, трубные решетки, штуцера и другие, работающие при температурах до -70°С под давлением в нефтеперерабатывающем машиностроении Сварные (толщиной ≤ 4 мм) и штампованные детали: подmotorные рамы, косынки и др.

Продолжение табл. 5

Марка	Назначение
35Г2, 40Г2	Коленчатые валы, полуоси, цапфы, оси, рычаги сцепления, вилки переключения передач, кожухи, шестерни, кольца, болты, поршневые штоки, распределительные валы, карданные валы и др.
45Г2 и 50Г2	Шатуны, полуоси, карданные валы и другие валы и оси
18ХГ, 18ХГТ, 25ХГТ, 30ХГТ, 25ХГМ, 25ХГМ селект, 20ХГР и 27ХГР	Мелкие неотчетственные детали Шестерни полуосей и коробок передач грузовых автомобилей, сателлиты, кулаки шарнира переднего ведущего моста грузовых автомобилей, втулки, червячные валы, кулачковые муфты, пальцы, шкворни, конические кольца подшипников диаметром 60...250 мм и ролики диаметром до 25 мм, шпиндели, торсионные валы и другие детали Сталь марки 30ХГТ в цементованном состоянии – тяжелонагруженные шестерни коробки передач и заднего моста грузовых автомобилей; после улучшения – детали

	станков
35ХГ2, 40ХГ, 40ХГР, 40ХГТР	Полуоси, валы, кулаки, звездочки, пальцы и другие детали в автотракторном, сельскохозяйственном и дорожном машиностроении. Сталь марки 35ХГ2 – отливки траков гусениц
33ХС, 38ХС, 40ХС	Валы муфт сцепления, рычаги переключения передач, валы коробок скоростей и др. Сталь марки 38ХС – впускные клапаны тракторов
27СГ, 35СГ, 36ГС2	Рычаги, опорные катки, пальцы звеньев и траки гусениц, различные детали дорожных машин и др.
30ХМ, 30ХМА, 35ХМ, 34ХМ1А	Валы, оси, цапфы, втулки, шпильки, шестерни, буры, детали рулевого управления

Продолжение табл. 5

Марка	Назначение
15ХФ и 20ХФ	Шестерни, поршневые пальцы, кулачковые муфты, втулки, червячные валы, копиры, плунжеры и др.
20Х3Ф	Ролики крупногабаритных подшипников диаметром до 150 мм.
40ХФА	В улучшенном состоянии – валы, траверсы, шестерни, работающие при температурах до +400°С
15НМ и 20НМ, 12ХН2, 12ХН3А, 12Х2Н4А, 20ХН3А, 20Х2Н4А, 20ХН, 20ХНР, 20ХГНР	Шестерни, зубчатые венцы, пальцы, оси и др. Шестерни, шлицевые валы, шпиндели, кулачковые муфты, втулки, ролики, шпильки, поршневые пальцы. Сталь марки 20Х2Н4А применяется, кроме того, для изготовления колец диаметром 200-250 мм и роликов диаметром 60...150 мм для крупногабаритных подшипников
40ХН, 45ХН, 30ХН3А, 30ХНР, 40ХНР, 40ХГНР	Коленчатые валы, шатуны, шестерни, шестеренчатые валы, шпиндели, червячные валы, валы муфт сцепления, впускные кла-

50ХН	Валки горячей прокатки
20ХГС, 25ХГСА	Валики, оси и другие детали, а также детали сварных конструкций
30ХГС, 30ХГСА, 35ХГСА	Валики, оси, тормозные ленты моторов, фланцы, корпуса, обшивки, лопатки компрессорных машин, работающие при температурах до 200°С в условиях значительных нагрузений, крепежные детали, рычаги, толкатели, ответственные детали сварных конструкций (сталь марки 30ХГС), работающие при знакопеременных нагрузках, и др.
38ХГС	Полуоси тяжело нагруженных тракторов

Окончание табл. 5

Марка	Назначение
14Г2НР, 14ХГ2СР, 15ХГНТА, 15Х2ГН2Т, 15Х2ГН2ТРА, 15Х2Г2СВА, 25ХГСНТ	Шестерни, зубчатые венцы, пальцы, оси, ролики, шатуны и другие детали станкостроения, автотракторостроения, горнорудного, угольного и других отраслей машиностроения
20ХНМ	Шестерни, сателлиты и другие ответственные детали в автомобилестроении
18Х2Н4В (М) А	Наиболее ответственные крупногабаритные шестерни, коленчатые валы с поверхностно упрочненными шейками, шатуны, шестеренчатые валы и другие детали уникального оборудования
20ХН4ФА	Крупногабаритные шатуны, муфты и другие детали
34ХН3М	Диски, цельнокованные роторы и другие детали паровых турбин и компрессоров, работающие при температурах до 450°С; оси эскалаторов, тяжело нагруженные шестерни и коленчатые валы, полумуфты, муфты и другие детали
40ХН	Коленчатые валы, клапаны, шатуны, крышки шатунов, шестерни, шпильки, муфты и другие детали в автомобиле-, моторо-, пресси- и станкостроении

30X2HBA, 38XH3BA	Валы, шатуны, болты, шпильки и др. Диски, покрышки, валы и роторы турбин и компрессорных машин, а также другие детали, работающие при температурах до 400°С, детали редукторов, болты, шпильки и т.д. Эти стали являются заменителем стали марки 34XH3M
45XHMΦA	Валы, торсионные валы сечением до 100 мм и другие сильно нагруженные детали, работающие при резких скручивающих нагрузках

**Сталь тонколистовая для автомобильных кузовов.** Листы изготавливают из качественной малоуглеродистой стали для холодной штамповки деталей с особо сложной вытяжкой (категория ОСВ) и для штамповки деталей со сложной вытяжкой (категория СВ). Листы изготавливают в термически обработанном состоянии и в дрессированном виде. По качеству поверхности листы разделяются на две группы отделки.

**Сталь тонколистовая качественная углеродистая конструкционная** поставляется в отожженном, нормализованном, отпущенном и в высокоотпущенном состояниях. Горячекатаные листы со станов непрерывной прокатки допускается поставлять без термической обработки при соблюдении всех норм по свойствам. Холоднокатаные листы марок 05кп и 08кп для штамповки деталей весьма глубокой вытяжки поставляются по механическим свойствам и микроструктуре или по штампуемости, а в необходимых случаях и в дрессированном виде. По способности к вытяжке при штамповке листы подразделяются на группы: ВГ – весьма глубокой, Г – глубокой и Н – нормальной вытяжки.

К листовой стали для весьма глубокой и глубокой вытяжки предъявляются определенные требования по величине зерна.

**Сталь листовая конструкционная для авиационного** поставляется в термически обработанном состоянии (отожженной, нормализованной или высокоотпущенной). Толстые листы, прокатанные на станах непрерывной прокатки, могут поставляться без термической обработки. Классификация листов по способности к вытяжке и состоянию отделки поверхности приведена в табл. 6.

Таблица 6

**Классификация листов по способности к вытяжке и состоянию отделки поверхности**

Группа	
Отделки поверхности	Вытяжки
<i>Холоднокатаные листы</i>	
I	ВГ
	Г
	Н
Группа	
Отделки поверхности	Вытяжки
II	ВГ
	Г
	Н
<i>Горячекатаные листы толщиной до 10 мм</i>	
III	Г
	Н
<i>Горячекатаные листы толщиной более 10 мм</i>	
IV	–

Окончание табл. 6

**Сталь горячекатаная тонколистовая качественная углеродистая конструкционная для автостроения** используется для изготовления деталей холодной штамповкой. Листы поставляются в термически обработанном состоянии. Листы, прокатанные на станах непрерывной прокатки, могут поставляться без термической обработки. Листы из стали 25 и выше по особым техническим условиям могут быть отожжены на зернистый перлит.

По штампуемости листы разделяются на листы глубокой (Г) и нормальной (Н) вытяжки. По состоянию поверхности и штампуемости листы разделяются на четыре категории: IГ, IIГ, IН, IIН.

**Сталь тонколистовая легированная конструкционная** поставляется в виде горяче- и холоднокатаных листов в термически обработанном состоянии: отожженном, нормализованном, нормализованном и отпущенном, высокоотпущенном.

**Лента стальная низкоуглеродистая холодной прокатки** предназначена для штамповки деталей в машиностроении и для изготовления труб и других изделий.

Рессорно-пружинную легированную сталь, характеризующуюся высокими пределами текучести (упругости) и выносливости при достаточной вязкости и пластичности, применяют для изготовления рессор, пружин, буферов и других деталей, работающих в условиях динамических и знакопеременных нагрузок (табл. 7).

Таблица 7

**Назначение и характеристика стали**

Марка	Назначение и характеристика
<i>Марганцовистая</i>	
55ГС	Тормозные шкивы и др.
<i>Кремнемарганцовистая</i>	
55СГ, 60СГ и 60СГА	Рессоры толщиной от 3 до 14 мм
<i>Кремнистая</i>	
50С2 и 55С2	Рессоры, подвески, натяжные пружины в автостроении; рессоры ведущей оси, рессоры, тендера, пружины предохранительного и обратного клапана в железнодорожном транспорте; детали, работающие на переменный изгиб
60С2 и 60С2А	Рессоры, изготавливаемые из полосовой стали толщиной 3...16 мм; пружины из полосовой стали толщиной 3-18 мм и из пружинной ленты толщиной 0,08...3 мм, витые пружины из проволоки диаметром 3...12 мм В станокостроении – спиральные пружины из проволоки диаметром более 6 мм В автотракторостроении – пружина передней и независимой подвески, рессоры, натяжные пружины и др. Рессоры и пружины с круглым, квадратным и овальным сечением Торсионные валы, пневматические зубила и др. Максимально допустимая рабочая температура +250°С. Сталь после термической обработки обладает высокими пружинящими свойствами
63С2А 70С3А	Различные рессоры и пружины. Нагруженные пружины ответственного назначения.
<i>Хромомарганцовистая</i>	

50ХГ и 50ХГА	Рессоры легковых и грузовых автомобилей. Сталь закаливается в масле на твердость HRC 58...60
--------------	---

Окончание табл. 7

Марка	Назначение и характеристика
<i>Хромомарганцевованадиевая</i>	
50ХГФА	Ответственные пружины и рессоры легковых автомобилей; пружины, работающие при повышенных температурах (до 300°С); пружины различного назначения, подвергающиеся в процессе работы многократным переменам нагрузок и требующие длительного цикла работы
<i>Хромованадиевая</i>	
50ХФА	Клапанные пружины и рессоры легковых автомобилей; сальниковые пружины, пружины для секционных колец поршня цилиндра, листовые рессоры автомобиля, пружины, работающие при повышенных температурах (до 300°С), пружины, подвергающиеся в процессе работы многократным переменам нагрузок и требующие длительного цикла работы. Сталь малосклонна к росту зерна; прокаливается в сечении до 50 мм при закалке в масле
<i>Хромокремнистая</i>	
60С2Х	Крупные высоконагруженные пружины и рессоры ответственного назначения (рессоры трактора и др.)
70С2ХА	Высоконагруженные пружины из тонкой пружинной ленты (пружины часовых механизмов, различных приборов и др.)

Кроме легированной стали для изготовления рессор и пружин применяют углеродистую сталь марок 65, 70, 75, 85.

Величина предела текучести в углеродистой стали после окончательной термической обработки должна быть не ниже 800 МПа. Значения относительного удлинения и сужения поперечного сечения, характеризующие пластичность, должны быть не ниже 5 и 20% соответственно.

Углеродистая рессорно-пружинная сталь содержит (в %): 0,6...1,00 С; 0,30...0,80 Мп и 0,15...0,37 Si. Содержание углерода в легированной ста-

ли находится в пределах 0,40-0,74 %. Легирование производится преимущественно кремнием, марганцем и хромом, а для особо ответственных деталей вводятся также никель, вольфрам и ванадий.

На предел выносливости стали влияет также состояние поверхности образца, так как наружные дефекты могут являться концентраторами напряжений и причиной образования усталостных трещин. Обезуглероживание поверхности также существенно снижает усталостную прочность стали.

Оптимальным пределом твердости для рессор, обеспечивающим максимальный предел выносливости, является HRC 39...44.

Упругие и прочностные свойства пружинной стали повышаются при применении изотермической закалки.

Для пружин, работающих при повышенных температурах или в коррозионно-активных средах, применяют теплоустойчивую и нержавеющую сталь разных марок, легированную значительными количествами хрома, никеля, вольфрама и молибдена.

Сталь для холодной высадки изготавливается в виде прутков круглого и шестигранного сечений. Выпускается два вида сталей: горячекатаная (термически обработанная и без термической обработки, с обычным классом точности по допускаемым отклонениям) и калиброванная (зачастую в шлифованном виде, с 4-м классом точности по допускаемым отклонениям). Для выпуска применяются следующие марки стали: 10, 25, 30, 35, 40, 45, 15X, 20X, 30X, 35X, 40X, 38XA, 20Г2, 40XH, 15XФ, 20XФ, 30ХМА, 20ХГСА, 30ХГС.

Сталь для отливок (табл. 8) предназначена для производства фасонных деталей, получаемых отливкой в земляные и металлические формы (кокили) или методами точного литья.

Таблица 8

**Назначение и свойства стали для отливок**

Марка	Назначение и свойства
15Л, 20Л	Мульды разливочных машин, шайбы, крышки цилиндров, шлаковые ковши, поддоны, арматура печей, рычаги, педали и другие детали, подвергающиеся действию динамических нагрузок и резким изменениям температуры

Продолжение табл. 8

Марка	Назначение и свойства
25Л, 30Л	Рычаги сцепления, корпуса конечной передачи, ступицы задних колес, ведущие колеса, ступицы ведущих колес в тракторостроении, корпуса турбин, станины прокатных станков и металлорежущих станков, маховики и другие фасонные детали, работающие при средних статических и динамических нагрузках; детали сварнолитых конструкций
35Л, 40Л, 45Л	Станины, корпуса, детали бурильных труб, лебедок, втулки компрессоров, муфты, тормозные диски, шестерни, зубчатые венцы, ведущие и направляющие колеса, кожухи, опорные катки, чашки сателлитов, рычаги, вилки, катки, звездочки и другие детали ответственного назначения, работающие при средних удельных давлениях и скоростях и подвергающиеся сильному износу
50Л и 55Л	Шестерни, бегунки, колеса, зубчатые венцы, зубчатые муфты подъемно-транспортных машин, ходовые колеса, валки крупно-, средне- и мелкосортных станков для прокатки мягкого металла. Сталь применяют после поверхностного упрочнения с нагревом током высокой частоты (т.в.ч.)
70Л	Ходовые колеса диаметром до 1000 мм мостовых кранов большой грузоподъемности. Сталь применяют после улучшения и поверхностного упрочнения с нагревом т.в.ч.
35ГЛ	Диски, звездочки, зубчатые венцы, шкивы, крестовины, траверсы, ступицы, вилки, зубчатые колеса, валы, кулачковые муфты, крышки подшипников, цапфы, ковши драглайнов, детали экскаваторов, щеки дробилок, бандажи бегунов и другие детали дробильно-размольного оборудования
40ГЛ	Цепные колеса лебедок и редукторов, шестерни, бандажи, зубчатые колеса и другие детали, подвергающиеся износу и ударным нагрузкам
Марка	Назначение и свойства
20ГСЛ	Лопасты гидротурбин с облицовкой листами из нержавеющей стали, зубчатые венцы и колеса, втулки, лопатки, сектора, ролики, рычаги и другие детали

Окончание табл. 8

	повышенной прочности
30ГСЛ	Рычаги, фланцы, сектора, венцы зубчатые ролики – обойма и др.
40ХЛ	Фасонные отливки, отливаемые методами точного литья, отливки небольших сечений и другие детали в общем машиностроении
35ХМЛ	Ответственные нагруженные детали, работающие при повышенных температурах, - пластины пластинчатых питателей, крестовины, втулки, зубчатые колеса и др. Свариваемость стали ограниченная
35ХГСЛ	Зубчатые колеса, звездочки, оси, валы, муфты и другие ответственные детали, работающие в условиях трения
40Г2Л	Нагруженные детали, подвергающиеся износу и ударным нагрузкам
70ХЛ	Футеровки шаровых мельниц, бегуны и другие детали
25ХГСЛ	Детали фонтанной арматуры
30ХГСЛ	Шестерни, подушки и другие детали, подвергающиеся ударным нагрузкам и износу. Свариваемость ограниченная
08ГДНФЛ, 13ХНАФТЛ, 12ДН1МФЛ	Различные детали для судостроения
30ХМЛ	Шестерни, крестовины, втулки, зубчатые колеса. Свариваемость хорошая. Сталь имеет повышенную склонность к холодным трещинам
35ХН2ВЛ	Сильно нагруженные зубчатые венцы и колеса и другие детали. Сталь имеет повышенную склонность к трещинам и склонна к камневидному излому
25ГСЛ	Различные детали машин повышенной прочности
35ХНЛ	Зубчатые венцы, шестерни, втулки, зубчатые колеса экскаваторов
27СГТЛ	Детали тракторов

Железоуглеродистые сплавы, содержащие свыше 2,11% углерода (также легирующие элементы), называют чугуном. Чугун условно подразделяют на серый (марки С4), ковкий (К4) и высокопрочный (В4), хотя в ряде случаев провести между ними границу очень трудно. По механическим свойствам чугун классифицируют: по твердости (мягкий чугун < НВ 149, средней твердости НВ 197...269, твердый > НВ 269), по прочности

(обыкновенной прочности  $\sigma_b < 200$  МПа, повышенной прочности  $\sigma_b = 200...380$  МПа, высокой прочности  $\sigma_b > 38$  МПа), по пластичности (непластичный  $\delta < 1\%$ , малопластичный  $\delta = 1...5\%$ , пластичный  $\delta = 5...10\%$ , повышенной пластичности  $\delta > 10\%$ ). По специальным свойствам чугун подразделяют на износостойкий, антифрикционный, коррозионностойкий, жаростойкий, немагнитный. Большое влияние на структуру и свойства чугуна оказывают процессы плавки и термической обработки, а также содержание легирующих элементов.

Наличие графитовых включений обеспечивает чугуны по сравнению со сталью целый ряд существенных преимуществ. Чугун нечувствителен к концентрации напряжений, т.е. наличие отверстий, углов, переходов, возможных раковин в отливках, пор и неметаллических включений, сравнительно мало влияют на реальную конструкционную прочность, в то время как в стальных отливках наличие таких концентраторов напряжений значительно снижает механические свойства.

Прочность серого чугуна зависит от прочности металлической основы, содержания и формы графитовых включений. Предел прочности при сжатии в 2-4 раза выше, чем при растяжении, поэтому серый чугун применяют для изготовления деталей машин, работающих преимущественно в условиях сжимающих нагрузок. Детали, несущие высокие нагрузки, должны изготавливаться из серого чугуна, имеющего предел прочности на растяжение около 250...300 МПа и модуль упругости 115...135 ГПа (СЧ 21-40, СЧ 28-48, СЧ 32-52). К таким деталям относятся: кронштейны, зубчатые колеса, базовые и корпусные детали повышенной прочности и износостойкости, станины и салазки станков, шпиндельные бабки, блоки и гильзы цилиндров, поршневые кольца, распределительные валы, толкатели, седла клапанов, тормозные барабаны и диски сцепления; станины, крышки, фланцы, щиты электродвигателей и др. Для изготовления деталей с пониженными требованиями (крышки, кожухи, патрубки и др.) используют серый чугун (СЧ 12-28) с пределом прочности 100...150 МПа и модулем упругости 60...85 ГПа.

Ковкий чугун получают графитизирующим отжигом белого чугуна. По своим литейным и механическим свойствам он занимает промежуточное положение между серым чугуном и сталью ( $\sigma_b = 300...700$  МПа, НВ 90...270). По разнообразию свойств, в зависимости от структуры, ковкий чугун близок к стали и в ряде случаев является полноценным ее заменителем. По сравнению со сталью ковкий чугун обладает повышенной

демпфирующей способностью и малой чувствительностью к наличию концентраторов напряжений. Структура ковкого чугуна обеспечивает высокую плотность металла. Отливки с толщиной стенки 7...8 мм выдерживают гидростатическое давление до 4 МПа, что позволяет использовать ковкий чугун для производства большого ассортимента деталей водо-, газо- и паропроводных установок.

Ковкий чугун используют в автомобиле-, тракторо-, сельхозмашиностроении и других отраслях промышленности для изготовления шестерен, муфт, храповиков, рычагов, ступиц, задних мостов, коленчатых валов, деталей рулевого управления, картеров редукторов, башмаков и др.

За счет легирования и термической обработки производят чугун с особыми свойствами: чугун с шаровидным графитом (например, ВЧ 45-10), износостойкий чугун, чугун для работы в условиях абразивного износа (ИЧХ12М и др.), в условиях износа при повышенных температурах (Х28Н10 и др.), в условиях сухого трения (например, титаномедистый), антифрикционный чугун (АСЧ-1 и др.), жаростойкий (например, ЖЧХ-08, ЖЧЮ-22), коррозионностойкий (СЧЩ-1 и СЧЩ-2), жаропрочный (например, ЧН19Х3М), немагнитный (типа «номаг»).

## 1.2. Алюминий и его сплавы

Алюминий характерен тем, что его плотность составляет 2,7 т/м<sup>3</sup> против 7,8 для железа и 9,0 для меди.

Сплавы на основе алюминия являются деформируемыми, т.е. получают методом прокатки, прессования,ковки и т.д. Алюминиевые сплавы характеризуются высокими тепло- и электропроводностью, хорошей коррозионной стойкостью, высокой технологической пластичностью, хорошей обрабатываемостью, резанием и большим разнообразием механических, физических, антифрикционных свойств и др.

На основе алюминия выпускаются следующие сплавы: АД, АД1, АМц, АМг, АМг5П, АМг3, АМг5, АМг6, Д1, Д1П, Д6, Д16П, Д18, Д18П, АК4, АК41-1, АК6, АК:-1, АК8, В93, В94, В95, В96Ц, В65, ВД17Ю Д20, Д21, АД31, АД33, АПБА-1, а также спеченная алюминиевая пудра (САП) и спеченные алюминиевые сплавы (САС). Основными легирующими элементами являются медь, магний, марганец, цинк, кремний, а также титан, хром, бериллий, никель, цирконий, железо и др.

Из сплавов алюминия изготавливают полуфабрикаты (листы, прессованные профили, поковки и штамповки, прутки, проволоку, фольгу) разнообразных форм и размеров.

Деформируемые алюминиевые сплавы подразделяются на неупрочняемые и на упрочняемые термической обработкой. Механические свойства неупрочняемых сплавов повышаются за счет легирования. Дополнительное упрочнение эти сплавы могут получать в результате нагартовки (деформация в холодном состоянии). Однако использование нагартовки приводит к снижению пластичности, поэтому после нагартовки применяют термическую обработку с целью повышения пластичности. К упрочняющим относятся такие сплавы, которые, помимо упрочнения от легирования, упрочняются также за счет распада пересыщенных твердых растворов. Термическая обработка сплавов в этом случае состоит обычно из закалки и старения (естественного или искусственного). Для дополнительного упрочнения таких сплавов используют нагартовку, производя ее между закалкой и старением. После этих операций возможно применение отжига.

В зависимости от области применения алюминиевых сплавов к ним предъявляются и соответствующие требования. Для деталей, несущих большие механические нагрузки, выбирают высокопрочные сплавы, работающие в условиях растяжения, сжатия, кручения и т.д. Для деталей, работающих в условиях знакопеременных нагрузок, основным параметром будет выступать усталость (выносливость) алюминиевых сплавов; для деталей, работающих под действием статических нагрузок, – долговечность, для заклепок – сопротивление срезу, для электротехнической промышленности – электропроводность, температурный коэффициент электрического сопротивления, коэффициент термического расширения и т.д.

Сопротивление срезу заклепочной проволоки для некоторых сплавов приведено в табл. 9.

Таблица 9

Гарантированное сопротивление срезу заклепочной проволоки

Сплав	Состояние материала	$\tau_{ср}$ , МПа (не менее)	
		проволока	заклепки
АД, АД1	Нагартованный	0,6	–



АМц	Термически обработанный	0,7	–
АМг5П	Отожженный	1,6	–
Д18П	Закаленный и естественно состаренный	1,9	1,9
В65	Закаленный и искусственно состаренный	2,5	2,7
Д1П	Закаленный и естественно состаренный	2,4	2,2
Д16П	Закаленный и естественно состаренный	2,7	2,5
Д19П	Закаленный и естественно состаренный	2,7	2,7
В94	Закаленный и искусственно состаренный	2,9	2,9
Д23	Закаленный и естественно состаренный	3,0	3,2

Механические свойства полуфабрикатов из сплава АМцМ-1 приведены в табл. 10, а электрические свойства – в табл. 11.

Таблица 10

**Механические свойства полуфабрикатов из сплава АМцМ-1 при 20°C**

Вид полуфабриката	Состояние материала	В продольном направлении $\sigma_b$ , МПа	В поперечном направлении $\sigma_b$ , МПа
Полосы толщиной 10 мм	Литой	1,7	1,65
Листы толщиной 0,5...1,0 мм	Нагартованный	3,2...3,3	3,2...3,3

Таблица 11

**Электрические свойства полуфабрикатов из сплава АМцМ-1**

Электрические свойства	Нагартовка (нагрев – 200°C)		Нагартовка (нагрев – 300°C)	
	16 ч		3 ч	6 ч
	Охлаждение на воздухе			
Удельное электрическое сопротивление $\rho$ , Ом·мм <sup>2</sup> /м при 20°C	0,119		0,114	0,100
Температурный коэффициент электрического сопротивления, (0...100°C)·10 <sup>-3</sup>	0,67		0,96	1,22

Весьма существенным свойством алюминиевых сплавов является их коррозионностойкость. Например, чистый алюминий (АД, АД1), сплавы АМц, АМг2 и АМг3 обладают высокой коррозионной стойкостью и могут применяться в морских и тропических условиях. Коррозионная стойкость этих сплавов не чувствительна к методам производства полуфабрикатов. Сварные соединения этих сплавов по коррозионной стойкости близки к основному металлу. Коррозионная стойкость более легированных сплавов АМг5, АМг6 чувствительна к методам производства и условиям эксплуатации. Так, при длительном нагреве их на 60...70°C они склонны к коррозии под напряжением и межкристаллитной коррозии. Холодная деформация усиливает эту склонность. Производство полуфабрикатов при строго контролируемых условиях обеспечивает им вполне удовлетворительную коррозионную стойкость в условиях эксплуатации. Сварные соединения этих сплавов по коррозионной стойкости близки к основному металлу и не подвержены коррозионному растрескиванию под напряжением. Однако нагрев материала выше 100°C после сварки делает его склонным к межкристаллитной коррозии. Заклепки из сплава АМгП следует ставить в конструкцию анодированными в серной кислоте с наполнением анодной пленки хромпиком. Сплавы АВ, АД31, АД33 и АД35 обладают удовлетворительной коррозионной стойкостью. Они не чувствительны к технологическим и эксплуатационным нагревам; основной металл и сварные соединения не склонны к коррозионному растрескиванию под напряжением. Сплав АВ из-за наличия в его составе меди обладает меньшей коррозионной стойкостью, чем сплавы АД31, АД33 и АД35. Удовлетворительной коррозионной стойкостью в искусственно состаренном состоянии обладает сплав АВ, содержащий не более 0,1% Си.

Сплавы, содержащие в своем составе медь (Д1, Д18, Д3П, Д16, ВД17, Д6, Д19, М40), а также сплавы типа В95 имеют пониженную коррозионную стойкость.

Литейные алюминиевые сплавы (АЛ1, АЛ2...АЛ13) имеют ряд особенностей: повышенную жидкотекучесть, обеспечивающую получение

тонкостенных и сложных по конфигурации отливок; невысокую линейную усадку; пониженную склонность к образованию горячих трещин.

В основном используются сплавы на основе: Al-Mg (АЛ8, АЛ27; высокая коррозионная стойкость, наибольшая удельная прочность и ударная вязкость, хорошая обрабатываемость резанием); Al-Si (АЛ2, АЛ4, АЛ9; высокие литейные свойства; повышенная герметичность отливок); Al-Cu (АЛ7, содержание меди до 6%; высокая прочность); Al-Cu-Si (АЛ3, АЛ10, АЛ14, АЛ15; простая технология литья, хорошая обрабатываемость резанием) и др.

Свойства некоторых алюминиевых сплавов представлены в табл. 12.

Таблица 12

**Механические свойства литейных алюминиевых сплавов**

Сплав	Режим термической обработки	Механические свойства при 20°С			
		$\sigma_6$	$\sigma_{0,2}$	НВ	$\delta_6$ %
		МПа			
АЛ6	T2	1,7	1,1	55	2
АЛ8	T4	3,5	1,7	80	10
АЛ27	–	3,6	1,8	90	18
АЛ27-1	–	3,8	1,9	–	20
АЛ23	–	2,5	1,4	75	10
АЛ23-1	–	2,6	–	80	12
АЛ13	T2	–	1,1	65	3
АЛ22	T4	2,6	1,8	90	4
АЛ7	–	2,4	1,6	65	7
	T5	2,6	2,0	85	3
АЛ19	T4	3,2	1,8	80	9
	T5	3,6	2,5	100	5
АЛ11	T2	2,2	1,5	80	2
АЛ24	T5	2,9	1,8	75	3
АЛ10В	T6	2,8	2,2	100	0,5
АЛ25	T1	2,0	1,6	–	–
АЛ26	T2	2,1	1,7	–	0,4
АЛ30	T1	–	–	–	0,5

**Спеченный алюминиевый порошок (САП)** по сравнению с обычными алюминиевыми сплавами обладает высокой прочностью при температу-

рах в интервале 300...500°С и в отличие от них он не изменяет свои свойства после длительного (до 10000 ч) нагрева при температурах до 500 °С.

По коррозионной стойкости САП равноценен чистому алюминию. При введении в САП небольшого количества железа и никеля (в сумме 1,2...1,5%) он способен длительно работать в паровоздушной среде при температурах до 350°С. Листовой САП можно сваривать контактной (точечной и роликовой) сваркой; для этой цели применяют плакирование листов САП сплавом АМц и АЛ.

САП может свариваться аргонодуговой сваркой, плавлением, если брикеты, из которых изготовлены полуфабрикаты, подвергались высоко-температурной дегазации. Механическая обработка резанием САП не вызывает трудностей; при этом может быть обеспечен 10-й класс точности.

**Спеченные материалы (САС)** содержат в своем составе минимальное количество окиси алюминия, а в качестве легирующих элементов в них используются железо, хром, никель и другие элементы, образующие с алюминием малорастворимые интерметаллические соединения. Прочность таких материалов достигает значения 400 МПа, а предел текучести – 330 МПа. Прочность САС на 50% выше прочности нелегированных САП.

Из материалов САП-1 и САП-2 освоено производство тех же полуфабрикатов, что и из обычных алюминиевых сплавов (листы, профили, штамповки, фольга, трубы). Максимальный вес прессованного полуфабриката составляет 300...400 кг. Листы изготовляют толщиной 0,8...10 мм, размером 1000x7000 мм.

Детали и конструкции, работающие в интервале температур 300...500°С, могут быть изготовлены из материала САП вместо нержавеющей стали. Так, например, корпус колеса вентилятора может быть выполнен из листового материала, а ступица изготовлена штамповкой. Соединение деталей осуществляется клепкой. В результате применения САП вес вентилятора уменьшается на 25...30%. Большие преимущества получаются при применении листового и прессованного материала САП в летательных аппаратах, где уменьшение веса имеет решающее значение. Из прутков САП изготовляют штамповки весом от 1 до 150 кг, которые используются для работы при температурах до 500°С и для кратковременной работы (в течение 90...120 с) при температурах газового потока 900...1000°С.

Высокая жаропрочность и коррозионная стойкость САП позволяют применять его для изготовления ответственных деталей: вентиля для сжатого воздуха (500°), вентиля управляющей системы реактивных двигателей, дроссельных и редукционных клапанов гидравлических и топливных систем самолетов. САП находит также применение в электротехнической, химической и машиностроительной промышленности.

Фольга и тонкая проволока из САП могут найти успешное применение для изготовления конденсаторов и обмотки электродвигателей, работающих в условиях повышенных температур (350...400°С).

Гладкие и ребристые трубы из САП могут быть использованы как теплообменники до 500...550°С и благодаря высокой коррозионной стойкости в агрессивных средах находят применение в нефтяной и химической промышленности.

Из САП-1 и САП-2 изготавливают компрессорные диски, лопасти вентиляторов и турбин, заклепки, из САП-3 и САП-4 – болты, винты и другие детали.

При низком удельном весе ( $\gamma = 2,75 \text{ т/м}^3$ ) и сравнительно небольшой стоимости САП является перспективным материалом для изготовления поршней форсированных двигателей. В больших дизельных поршнях САП вводят только в температурно-нагруженные места. В авиационной и автомобильной промышленности из САП-1 и САП-2 изготавливают поршневые штоки, небольшие шестерни, лопасти компрессора и ряд других деталей, работающих при 300...500°С.

Высокая коррозионная стойкость САП позволяет использовать его в судостроительной промышленности. Трубы из САП используются и в атомных реакторах.

### 1.3. Медь и ее сплавы

*Медь* обладает наивысшей после серебра электропроводностью и теплопроводностью, обладает высокой коррозионной стойкостью, хорошо полируется и легко покрывается разнообразными покрытиями, однако плохо обрабатывается резанием, имеет невысокие литейные свойства, что затрудняет изготовление из нее сложных фасонных отливок.

Применяют медь в виде листов, лент, прутков, труб, проволоки, в виде порошка для нужд керамики и др.

Физические свойства меди очень сильно зависят от примесей.

Медные сплавы обладают высокой тепло- и электропроводностью, высокой коррозионной стойкостью во влажной атмосфере, хорошим сопротивлением износу без смазки и даже при абразивном износе, низким коэффициентом трения, хорошей притираемостью в паре с другими более твердыми металлами. Медные сплавы имеют  $\sigma_v$  от 150 до 900 МПа, удлинение до 53% и сужение до 40%. Особенно характерна для них высокая пластичность. Большинство медных сплавов хорошо обрабатывается давлением, легко поддается обработке резанием, полированию и разнообразным покрытиям.

Медные сплавы являются надежными материалами для работы при отрицательных температурах. Прочность и удлинение у некоторых из них даже повышаются при понижении температуры до -250°С, тогда как сплавы, например на основе железа, становятся хрупкими при этих температурах.

Недостатками медных сплавов являются их сравнительно высокий удельный вес и низкие свойства при повышенных температурах. Однако в последнее время разработана серия медных сплавов (медно-циркониевые, медно-хромистые и другие) отличающихся более высокими свойствами при повышенных температурах. Очень хорошо проявляют себя в работе при повышенных температурах вставки и целые прессформы из этих сплавов для литья под давлением высокотемпературных сплавов. Стойкость таких прессформ выше, чем прессформ из сталей с хромом, вольфрамом и другими легирующими элементами, так как высокопластичные медные сплавы не чувствительны к термическим напряжениям, поэтому на поверхности медных прессформ не появляется сетка разгара, выводящая их из строя. По коррозионной стойкости во влажной атмосфере и в воде медь и сплавы на ее основе уступают только благородным металлам.

Высокие пластические свойства меди и ее сплавов позволяют получать из них полуфабрикаты и изделия весьма сложного профиля, различной толщины, размеров и т.д. Медные сплавы немагнитны.

Стандартные медные сплавы имеют обозначения, указывающие на принадлежность их к определенной группе сплавов в зависимости от химического состава.

В марке сплава указываются начальные буквы сплавов (Л – латунь, Б – бронза), начальные буквы основных легирующих элементов (например, О – олово, Ц – цинк, Мц – марганец и т.д.), а затем цифры, обозначающие содержание этих элементов в сплавах.

Например, сплав ЛАЖМц-66-6-3-2 – это латунь (Л) алюминийево-железисто-марганцовистая, которая состоит из 66% Cu, 6% Al, 3% Fe, 2% Mn, остальное Zn. Буква Л в конце, встречающаяся у некоторых марок латуней, обозначает, что сплав литейный (обычно от деформируемого отличается повышенным количеством примесей). Бр АЖ9-4 – бронза алюминийевая

с железом, содержащая 9% Al, 4% Fe и остальное Cu. Бр ОЦС6-6-3 оловяно-цинково-свинцовистая бронза, содержащая 6% Sn, 6% Zn, 3% Pb, остальное Cu.

**Латуни (сплавы меди с цинком).** Техническое применение имеют сплавы, содержащие до 50% Zn. Этим сплавам присущи все положительные свойства меди и других медных сплавов, т.е. сравнительно высокие электропроводность и теплопроводность (20...50%) при более высокой прочности и лучшие технологические свойства по сравнению с чистой медью. Латунь применяют в виде катаных полуфабрикатов и отливок. Поэтому различают деформируемые и литейные латуни. По химическому составу латуни разделяются на двойные (простые), т.е. состоящие из меди и цинка, и многокомпонентные (сложные), в состав которых, кроме цинка, входят другие элементы, улучшающие некоторые свойства сплавов.

Влияние цинка на механические свойства латуней показано на рис. 1.

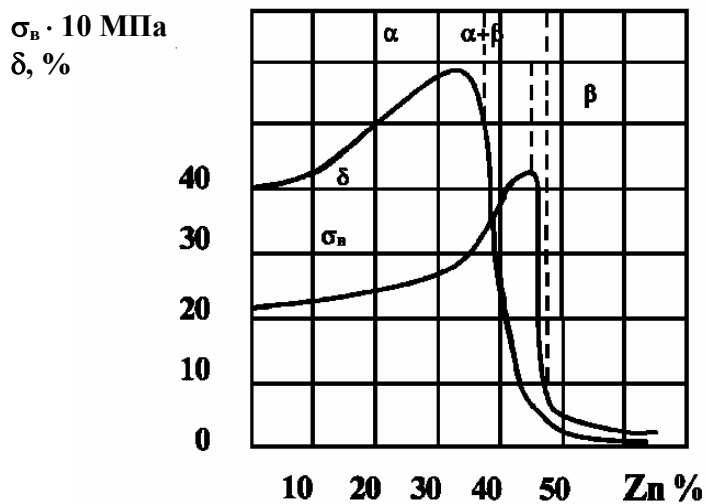


Рис. 1. Влияние цинка на механические свойства медно-цинковых сплавов

Латуни, содержащие примерно до 30% Zn (по структуре это однофазные сплавы), более пластичны; дальнейшее увеличение содержания цинка повышает прочность латуни (двухфазные сплавы), но ее пластичность резко уменьшается. Другие легирующие элементы (алюминий, марганец, кремний и др.) еще более повышают прочность и твердость латуни, уменьшая пластичность. Изменение свойств латуни при разном содержании цинка и других легирующих элементов объясняется изменением ее структуры. Латуни, состоящие из α-твердого раствора, обладают высокой пластичностью; (α+β)-латуни имеют высокую прочность и твердость, но пониженную пластичность.

Высокомедистые латуни применяют в тех случаях, где требуется высокая пластичность металла, например, при изготовлении полуфабрикатов холодным прессованием. Чем больше меди в латунях, тем выше их электро- и теплопроводность и коррозионные свойства. В то же время латуни с повышенным содержанием цинка дешевле, легче обрабатываются резанием, обладают способностью лучше прирабатываться и противостоять износу без смазки. Для повышения антифрикционных свойств в латуни вводят свинец. Свинцовистые латуни по обрабатываемости резанием стоят на первом месте среди других медных сплавов. Большинство специальных латуней (марганцовистая и др.) склонно к коррозионному растрескиванию под напряжением, поэтому не рекомендуется их применение в конструкциях при длительном действии растягивающих нагрузок в среде аммиака, морской воде и в среде, содержащей углекислоту или серный ангидрид.

Коррозионная стойкость латуней повышается применением покрытий (хромирование, никелирование и др.)

Не рекомендуется применение латуни в контакте с железом, алюминием и цинком.

**Оловянные бронзы** – это медные сплавы, у которых основным легирующим элементом является олово. В состав оловянных бронз входят также цинк, свинец, фосфор, никель.

Оловянные бронзы применяют в тех случаях, когда требуется высокая коррозионная стойкость в сочетании с достаточной прочностью (различная водяная и морская арматура). Эти бронзы отличаются также высокими антифрикционными свойствами, т.е. небольшим износом, малыми значениями коэффициентов трения и хорошей притираемостью в паре,

например со сталью. В этом отношении они не имеют себе равных среди медных сплавов. Благодаря хорошей теплопроводности и сравнительно высоким механическим свойствам изделия из оловянных бронз могут хорошо служить в качестве подшипниковых деталей при высоких скоростях вращения и довольно значительных удельных нагрузках без заеданий.

В отечественных оловянных бронзах содержится 2...4% Sn, 2...15% Zn, 1...30% Pb, до 3% Ni. Повышение содержания олова до 12% увеличивает предел прочности и текучести и твердость, но при этом уменьшается удлинение и ударная вязкость (рис. 2).

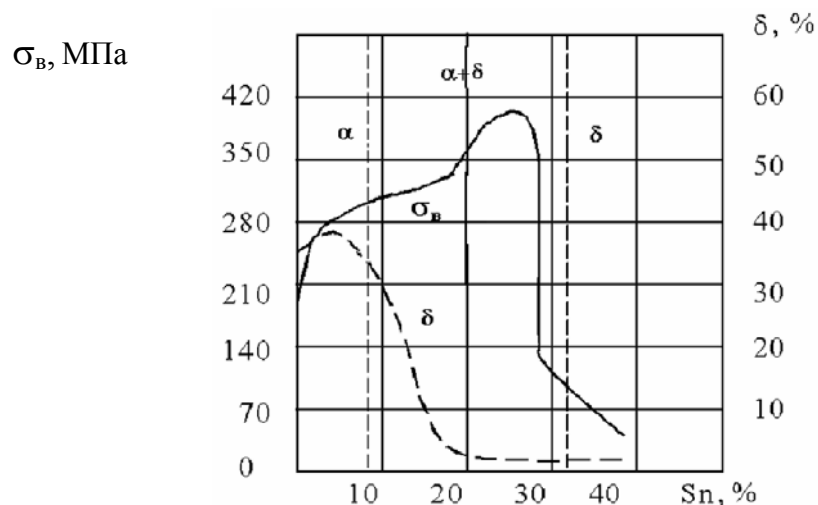


Рис. 2. Механические свойства литых медно-оловянных сплавов в зависимости от содержания олова

Цинк повышает механические свойства и жидкотекучесть малооловянных бронз, облегчает сварку и пайку. Свинец улучшает антифрикционные свойства и обрабатываемость резанием, но понижает механические свойства. Добавка никеля измельчает зерно, повышает механические свойства и улучшает структуру оловянно-свинцовых бронз. Фосфор повышает антифрикционные свойства, износоустойчивость и жидкотекучесть бронз, но при содержании более 0,02% понижает механические свойства. Оловянные бронзы делятся на литейные и деформируемые. Они сравнительно дефицитны, и поэтому их рекомендуется применять только в тех случаях, когда заменители (безоловянные бронзы и латуни, биме-

таллы, цинковые, легкие сплавы, пластмассы, прессованное дерево и др.) не могут обеспечить равноценную службу.

Литейные оловянные бронзы чаще всего получают путем переплавки отходов и лома и применяют главным образом для получения пароводяной (герметичной) арматуры, работающей под давлением, и для отливки антифрикционных деталей (втулки, подшипники, вкладыши, червячные пары и др.).

Все бронзы хорошо паяются мягкими припоями, однако их свариваемость затруднена (особенно многокомпонентных оловянных бронз).

Деформируемые оловянные бронзы содержат 4...8% олова и добавки фосфора, цинка и свинца. Они выпускаются в виде прутков, труб, лент и проволоки в твердом, полутвердом и мягком (отожженном) состоянии.

Высокие механические, физические и антифрикционные свойства в сочетании с удовлетворительной электропроводностью, а также высокая коррозионная стойкость делают деформируемые оловянные бронзы незаменимым материалом для изготовления пружин и пружинистых деталей в машино- и приборостроении, в авиационной и химической промышленности. Наиболее высокие упругие свойства у фосфористых бронз. Электропроводность оловянных бронз меньше, чем у чистой меди на 50...60%, но выше, чем у всех других медных сплавов одинаковой прочности. Наиболее существенным показателем деформируемых оловянных бронз является высокая усталостная прочность в коррозионных средах.

**Безоловянные (специальные) бронзы** — это медные сплавы, содержащие в качестве легирующих элементов Al, Ni, Si, Mn, Fe, Cd, Be, Cr и др. Название бронзы определяется легирующими элементами. Они имеют высокие механические, антикоррозионные и антифрикционные свойства, а также ряд специальных свойств (высокую электропроводность, теплопроводность, жаропрочность). Наибольшее распространение в различных отраслях машиностроения получили *алюминиевые бронзы*. В зависимости от структуры и процентного содержания алюминия (до 14%) бронзы могут быть одно-, двух- и многофазными. Однофазные сплавы имеют высокие пластичные свойства и хорошо обрабатываются давлением в холодном и горячем состоянии. Двухфазные сплавы отличаются повышенной прочностью, но имеют пониженную пластичность, поэтому могут быть обработаны давлением только в горячем состоянии. Алюминиевые бронзы трудно паяются.

*Кремнистые бронзы* содержат кремний (1...3%), а также никель, цинк, свинец и марганец. Они отличаются высокими механическими свойствами, высокой упругостью и выносливостью, коррозионной стойкостью, антифрикционными свойствами, немагнитны, удовлетворительно свариваются, паяются и обрабатываются резанием, хорошо обрабатываются давлением.

*Бериллиевые бронзы* (1,7...2,5% Be) являются наиболее дорогими и дефицитными из всех медных сплавов, обладают высокой химической стойкостью, износоустойчивостью и упругостью в сочетании с прочностью и твердостью, равной свойствам легированных сталей.

В качестве жаропрочных бронз применяют *марганцевые (Бр.Мц5)* и *хромистые (Бр.Х0,5) бронзы*. Кадмиевые бронзы используют для изготовления токоснимающих щеток, проводов и других деталей, требующих высокой электропроводности и жаропрочности материала. Свинцовистые бронзы (например, Бр.С-30) применяют для заливки подшипников (вкладыши, втулки), способных работать при высоких удельных давлениях до 15 МПа, высоких температурах до 350°C и скоростях до 4...5 м/с.

#### 1.4. Олово, свинец и их сплавы

**Олово** – пластичный металл белого цвета с низкой температурой плавления. Высокая коррозионная стойкость на воздухе и в некоторых агрессивных средах, нетоксичность, хорошая адгезия со многими металлами обуславливают широкое применение олова для защитных покрытий.

Олово стойко в нейтральных растворах солей, разбавленных растворах слабых щелочей, уксусной кислоте, молоке и фруктовых соках, в пресной и морской воде. Наибольшее количество олова используется для защитных покрытий железа, меди и их сплавов (особенно в пищевой промышленности). Оловянные покрытия хорошо защищают медные провода от воздействия серы, содержащейся в резине. Олово также широко применяют для производства припоев, баббитов, бронз и легкоплавких сплавов.

Пластичное белое олово ( $\beta$ ) устойчиво при температурах от точки затвердевания до 13,2°C, а хрупкое серое олово ( $\alpha$ ) образуется ниже этой температуры. При отрицательных температурах происходит превращение белого олова в серое с достаточно низкой скоростью. Самопроизвольное разрушение оловянных изделий на холоде называют «оловянной чумой», так как переход в  $\alpha$ -модификацию сопровождается большими объемными

изменениями, в результате которых олово рассыпается в порошок. Контакт белого олова с серым ускоряет процесс перехода олова из пластичной в хрупкую модификацию.

Введение в олово небольших добавок сурьмы, свинца, мышьяка, меди, золота, никеля, и особенно висмута, резко снижает температуру и скорость превращения  $\beta$ - в  $\alpha$ -олово (0,05% висмута и 0,1% сурьмы практически полностью предотвращают этот переход). Наоборот, введение в олово германия, цинка, алюминия, теллура, марганца, кобальта и магния увеличивает скорость превращения. Серое олово можно перевести в белое переплавкой.

**Свинец** – пластичный металл белого цвета с низкой температурой плавления. Свинец хорошо сплавляется с другими металлами, легко наносится в расплавленном состоянии или электролитически на различные металлы, хорошо поглощает вибрацию и звук, обладает хорошими смазывающими и антифрикционными свойствами, низкой проницаемостью для радиоактивных излучений. Образующаяся на поверхности свинца тонкая плотная окисная (а также сульфатная, карбонатная, хроматная) пленка хорошо защищает его от коррозии. Свинец стоек во внешних условиях (в том числе и в земле), в серной и других кислотах, в контакте со многими металлами. Стойкость в агрессивных средах повышается добавкой в свинец сурьмы, олова, серебра, кальция, мышьяка, теллура и меди.

Благодаря высокой коррозионной стойкости и хорошей обрабатываемости давлением свинец широко используется в химической аппаратуре для облицовок различных резервуаров, ванн и др. Свинец является одним из лучших материалов для уплотнителей, сальников и прокладок, работающих в широком интервале температур. Из свинца изготавливают коррозионно-стойкие оболочки для кабелей, а благодаря низкой температуре плавления свинец применяют для производства плавких предохранителей, бойлерных пробок и др. Способность к поглощению звука и вибраций делает свинец ценным материалом для различного рода демпфирующих устройств (например, опорных плит на мостах). Свинец широко применяется в качестве легирующего элемента для стали, меди и других металлов с целью придания им антифрикционных свойств. Свинцово-серебряные сплавы являются хорошим протектором для стальных изделий, работающих в солесодержащих водах. Свинец токсичен, и его содержание в воздухе не должно превышать 0,01 мг/м<sup>3</sup>. Полуфабрикаты свинца выпускаются в виде листов (толщиной 0,2...15 мм, шириной 500 и 600 мм и дли-

ной 750...1200 мм), труб (с толщиной стенок 2...10 мм и наружным диаметром 15...170 мм) и фольги.

Для заливки вкладышей подшипников различных машин используют **баббиты** – мягкие антифрикционные сплавы на оловянной и свинцовой основах (например, Б83 – 83% олова, остальное свинец). Для повышения твердости и ударной вязкости в состав баббитов вводят различные легирующие элементы: сурьму, медь, мышьяк, кадмий, никель, теллур, магний.

### 1.5. Прочие металлы (магний, титан, цинк, кадмий)

**Магний и сплавы на его основе** имеют малую плотность (1,76...1,99 т/м<sup>3</sup>) при сравнительно высоких механических свойствах (табл. 13), что позволяет использовать их в качестве конструкционных материалов легких машин и оборудования (деталей двигателей мотоциклов и автомобилей, отбойных молотков и т.п.), а способность хорошо противостоять ударам позволяет применять их для колес автомобилей, самолетов, орудий и др.

Таблица 13

**Механические свойства литого и деформированного магния при 20°С**

Состояние материала	$\sigma_b$ , МПа	НВ	E, ГПа	G, ГПа
<i>Литой магний</i>				
Отдельно литые образцы	15	300	45	16
<i>Деформированный магний</i>				
Прессованные прутки	200	400	45	16
Листы холоднокатаные	260	500	45	–
Листы отожженные	190	400	45	–
Поковки	173	–	–	–

Магниевые сплавы исключительно хорошо обрабатываются резанием (детали оптических приборов с исключительно тонкими стенками, мелкой резьбой и др.), они очень чувствительны к знакопеременным нагрузкам, поэтому при конструировании деталей следует избегать резких переходов сечения, острых надрезов, образования пазов и карманов. Для защиты от

коррозии детали из магниевых сплавов оксидируют, окрашивают или смазывают маслом или наносят неорганические пленки. Во избежание контактной коррозии не рекомендуется непосредственный контакт деталей из магниевых сплавов с деталями из сплавов алюминия, меди, никеля, стали, благородных металлов, а также с деревом и текстолитом (для стыковки используются изоляционные прокладки – фибра, пропарафиненная бумага и др.).

Температура литья магния 650...710°С, он очень ковкий и пластичен, при температуре 230...480°С хорошо обрабатывается давлением, температура прессования – 400...440°С, прокатки – 480...470°С, отжиг осуществляется при 340°С в течение 30 мин, охлаждение на воздухе.

При производстве магниевых сплавов в качестве легирующих элементов выступают: марганец (марка МА1, МА8), алюминий и цинк (МА2, МА3, МА5), а также кальций, цирконий, кадмий, неодим, серебро.

Чистая поверхность, легко получаемая при обработке резанием, делает деформируемые магниевые сплавы пригодными для изготовления гравировальных плит, механическая обработка которых стоит дешевле таких же плит, изготовленных из других материалов.

Хорошая травимось магниевых сплавов делает их пригодными для изготовления клише, дающих более четкие отпечатки по сравнению с другими применяемыми для этой цели металлами.

Магниевые сплавы обладают наибольшей износостойкостью по сравнению с другими металлами, применяемыми и для изготовления печатных форм в полиграфии. Благодаря мелкозернистой структуре листов из деформируемых магниевых сплавов значительно повышается качество печатных форм.

Большим преимуществом деформируемых магниевых сплавов является их незначительная деформация при многократных нагревах и охлаждениях. Линейные размеры цинка изменяются уже при 150°С и весьма значительно при 250°С, в то время как линейные размеры деформируемых магниевых сплавов при указанных температурах почти не изменяются.

Скорость травления пластин из деформируемых магниевых сплавов в азотной кислоте вдвое больше скорости травления цинка.

Применение деформируемых магниевых сплавов в полиграфической промышленности приводит также к экономии большого количества дефицитного свинца.

Характеристика выпускаемых промышленностью полуфабрикатов из деформируемых магниевых сплавов приведена в табл. 14.

Таблица 14

**Полуфабрикаты из деформируемых магниевых сплавов, производимые в промышленном масштабе**

Полуфабрикат	Размер	Марка сплава	В каком виде поставляются
Прутки	Диаметр до 200 мм	МА1, МА2 и МА8  МА3 МА5  ВМ65-1	Горячепрессованные без термической обработки Отожженные Закаленные или горячепрессованные Подвергнутые искусственному старению
Полосы	Толщина 20...40 мм, ширина до 800 мм	МА1, МА2, МА2-1 и МА8  ВМ65-1	Горячепрессованные  Подвергнутые искусственному старению
Профили	Поперечное сечение от 1 до 100 см <sup>2</sup> , длина 6...8 м	МА1 и МА8  ВМ65-1	Горячепрессованные  Подвергнутые искусственному старению
Листы	Толщина 0,8...10 мм, ширина до 1200 мм, длина до 3000 мм	МА1 и МА8	Отожженные или полунагартованные
Плиты	Толщина 11...32 мм, ширина до 1000 мм, длина до 2000 мм	МА8 и МА2-1	Горячекатаные без термической обработки

Окончание табл. 14

Полуфабрикат	Размер	Марка сплава	В каком виде поставляются
Поковки	Весом до 100 кг	МА1 и МА2 МА3 МА5 ВМ65-1	Без термической обработки Отожженные Закаленные, подвергнутые искусственному старению

**Титан** имеет следующие основные преимущества по сравнению с другими конструкционными металлами: малый удельный вес (плотность 4,42...4,52 г/см<sup>3</sup>), высокие механические свойства в широком интервале температур, отсутствие хладноломкости и хорошую коррозионную стойкость. Титан в виде тонкой стружки (например, при обработке тупым режущим инструментом) может гореть на воздухе или в атмосфере азота. Высокая химическая активность титана при плавке требует применения специального оборудования, в том числе и вакуумирования.

Для придания титану требуемых свойств сплавы его легируют небольшим количеством металлов платиновой группы (для повышения коррозионной стойкости), а также алюминием, молибденом, ванадием, марганцем, хромом, оловом, железом, цирконием, ниобием.

Титановые сплавы выпускают в виде листов, прутков, труб, проволоки, чушек. Титановые сплавы низкой и средней прочности (ВТ1-00, ВТ1, ОТ4-0, ОТ4-1, ОТ4) обладают хорошей штампуемостью в холодном состоянии. Титановые сплавы повышенной прочности (ВТ4, ВТ5-1, ВТ14, ВТ15 с  $\sigma_v$  вплоть до 1,3 ГПа) обладают высокой упругой отдачей штампуемого материала и высоким остаточным напряжением в готовых изделиях, поэтому при штамповке осуществляют нагрев деформируемого материала, а также межоперационный отжиг при температуре 600...750°С.

**Цинк** – пластичный металл голубовато-белого цвета с низкой температурой плавления (420°С), обладающий хорошими литейными свойствами и сравнительно высокой стойкостью на воздухе и в пресной воде. Цинк легко прессуется, штампуется, прокатывается и протягивается. Около половины выпускаемого цинка используется для защитных покрытий сталей, а также в качестве протекторов для катодной защиты стальных сооружений. Цинк имеет высокую коррозионную стойкость не только на воздухе, но и в воде, в том числе и в морской.



Для литья под давлением применяют тройные сплавы цинк-алюминий-магний и четверные сплавы цинк-алюминий-медь-магний. Добавки алюминия, меди и магния повышают прочность и улучшают жидкотекучесть цинка. При литье цинковых сплавов под давлением получают отливки сложной формы, тонких сечений, с точными размерами, не требующими дальнейшей механической обработки. Цинковые сплавы хорошо обрабатываются резанием.

**Кадмий** – мягкий пластичный металл серебристо-белого цвета с низкой температурой плавления и коррозионной стойкостью, близкой к цинку. Покрытия из кадмия обладают высокой коррозионной стойкостью на воздухе и в некоторых газовых и жидких средах. По сравнению с цинковыми кадмиевые электролитические покрытия более плотные, и для защиты стали и других металлов от коррозии требуется в 2 – 3 раза тоньше слой кадмия, чем цинка. Кадмий широко применяется для антикоррозионных покрытий деталей точных приборов (болтов, пружин и др.), работающих в агрессивных средах. Пары кадмия ядовиты, максимально допустимая концентрация кадмия в атмосфере составляет  $1\text{мг/м}^3$ . Кадмий применяется в качестве легирующего элемента в сплавах других металлов.

Цинк и кадмий широко используются в производстве гальванических элементов и аккумуляторов.

## Глава 2. ПОЛИМЕРЫ И МАТЕРИАЛЫ НА ИХ ОСНОВЕ

### 2.1. Термопластичные полимеры

По отношению к нагреву полимеры подразделяются на термопластичные и терморезистивные. Термопластичные полимеры при нагревании переходят из твердого агрегатного состояния в вязкотекучее, а при охлаждении вновь затвердевают. Это свойство термопластичные полимеры сохраняют при многократных нагревах.

К термопластичным полимерам относятся полиолефины, полиамиды, поливинилхлорид, фторопласты, полиуретаны.

Термопласты имеют невысокую температуру перехода в вязкотекучее состояние, хорошо перерабатываются литьем под давлением, экструзией и прессованием. Применяются термопласты в качестве диэлектриков (изоляторов), химически стойких конструкционных материалов, прозрач-

ных оптических стекол, пленок, волокон, а также в качестве связующих для получения композиционных материалов, лаков, клеев и др.

**Полиэтилен**, молекула которого состоит из многократно повторяющегося звена  $[-\text{CH}_2 - \text{CH}_2 - ]_n$ , представляет собой продукт полимеризации этилена. Это относительно твердый и упругий материал, без запаха, белый в толстом слое и прозрачный в тонком. Для получения окрашенных полимеров применяют органические красители (минеральные пигменты и спиртовые растворы органических красок). Полиэтилен различается по плотности, которая зависит от технологии получения. Различают полиэтилен низкого (ПЭНД), высокого (ПЭВД) и среднего (ПЭСД) давления. Чем выше давление, при котором получают полиэтилен, тем выше его плотность, степень кристалличности, прочность, твердость и теплостойкость материала. Свойства полиэтилена и других термопластов представлены в таблице 15.

Полиэтилен легко перерабатывается различными методами, сваривается при изготовлении изделий сложной конфигурации, устойчив к ударным и вибрационным нагрузкам, агрессивным средам и воздействию радиации, обладает высокой морозостойкостью (до  $-70^\circ\text{C}$ ). Однако в присутствии сильных окислителей (растворы азотной кислоты и перекиси) материалы на основе полиэтилена разрушаются. Полиэтилен также склонен к старению при воздействии на него света. Для подавления необратимых процессов старения полиэтилена в него (как и в другие термопласты) вводят специальные добавки – стабилизаторы: антиоксиданты, антиозонаты, светостабилизаторы, антипирены (для снижения горючести), антистатики, а также антимикробные компоненты (ртуть, мышьяк, соединения олова и др.) и пластификаторы. Так, введение в полиэтилен в процессе его синтеза и переработки 2...3% сажи и 0,1% аминов позволяет замедлить процесс его старения в 30 раз.

Полиэтилен применяют для изготовления труб, литых и прессованных несилевых деталей, пленок, изоляции высокочастотных проводов и кабелей, радиотехнических деталей, а также в качестве защитных покрытий металлов от коррозии.

**Полипропилен**  $[-\text{CH}_2 - \text{CH}(\text{CH}_3) - ]_n$  – жесткий нетоксичный полимер, допускающий более высокую температуру эксплуатации, чем полиэтилен. Полипропилен негигроскопичен, химически стоек к действию кислот щелочей, при  $80^\circ\text{C}$  растворим в ксилоле и толуоле, хорошо формуются в изделия и сваривается контактной сваркой. Полипропилен имеет невысокую

морозостойкость до  $-10... -20^{\circ}\text{C}$  и склонен к старению при воздействии света. Выпускается в виде гранул и порошков. Полипропилен применяется для антикоррозионной футеровки резервуаров, арматуры, изготовления деталей электроаппаратуры, волокон и пленок.

**Поливинилхлорид**  $[-\text{CH}_2 - \text{CHCl} - ]_n$  – аморфный полимер белого или светло-желтого цвета, обладает высокими диэлектрическими свойствами, атмосферной и химической стойкостью, стоек к маслам и бензину, негорюч. Непластифицированный поливинилхлорид называется винипластом. Винипласт имеет высокую механическую прочность и обладает хорошими электроизоляционными свойствами, легко формуется, хорошо поддается механической обработке, склеивается и сваривается, хрупок при отрицательных температурах (рабочий диапазон температур от  $0$  до  $70^{\circ}\text{C}$ ).

Винипласт хорошо приклеивается к металлу, древесине, бетону. Листовой винипласт применяется в качестве футеровочного материала, в том числе и для облицовки гальванических ванн. Из винипласта изготавливают различную фурнитуру – краны, клапаны, задвижки, детали насосов, вентиляторов и др.

Назначение материала указывается в его марке: Т – термостабилизированный, М,Ж – для изготовления соответственно мягких и жестких материалов, П – пастообразующий.

При введении в поливинилхлорид пластификаторов (дибутилфталата, трикрезилфосфата) в количестве 1:3 получается пластикат, который обладает высокой морозостойкостью до  $-70\%$ . Пластикат применяется для изготовления изоляции проводов, изоляторы, а также для изготовления труб и различных покрытий.

**Политетрафторэтилен**  $[-\text{CF}_2 - \text{CF}_2 - ]_n$  (фторопласт-4, фторлон-4) является фторпроизводным продуктом этилена и представляет собой мелкий порошок белого цвета. В вязкотекучее состояние переходит при температуре  $423^{\circ}\text{C}$ , а при  $420^{\circ}\text{C}$  сильно окисляется, поэтому литьем под давлением и экструзией его не перерабатывают. Кроме того, при этих температурах выделяется токсичный фтор. Фторопласт-4 прессуют при температуре  $360-380^{\circ}\text{C}$ . Материал обладает высокой термостойкостью, стоек к действию кислот, щелочей, окислителей, растворителей, негигроскопичен. Разрушается при действии расплавленных щелочных металлов, элементарного фтора, набухает во фреонах. Фторопласт-4 имеет очень низкий коэффициент трения, сохраняет упругие свойства до  $-269^{\circ}\text{C}$ .

Фторопласт-4 применяется для изготовления уплотнительных элементов, мембран, фурнитуры, деталей антифрикционного назначения, а также, благодаря высоким диэлектрическим свойствам, для изготовления высокочастотной аппаратуры, коаксиальных кабелей, конденсаторов и др. Из фторопласта-4 изготавливают очень тонкие изоляционные пленки толщиной до  $0,005$  мм. Для лаковых покрытий применяют фторопласт – 42Л.

**Политрифторхлорэтилен**  $[-\text{CF}_2 - \text{CFCl} - ]_n$  (фторопласт-3, фторлон-3) – полимер стойкий к действию кислот, щелочей, окислителей, растворителей, диапазон рабочих температур от  $-195^{\circ}\text{C}$  до  $+125^{\circ}\text{C}$ . При высокой температуре растворяется в бензине, толуоле, ксилоле. Перерабатывается литьем под давлением, экструзией и прессованием. Применяют для изготовления труб, шлангов, фурнитуры, защитных покрытий, низкочастотных диэлектриков, пленок, а также для термо- и влагостойких покрытий.

**Полистирол**  $[-\text{CH}_2 - \text{CHC}_6\text{H}_5 - ]_n$  – твердый, жесткий, прозрачный полимер, обладает хорошими диэлектрическими свойствами, химически стоек к кислотам и щелочам, масло- и бензостоек, хорошо склеивается и окрашивается. Имеет низкую теплостойкость и ударную вязкость. Применяется для изготовления химически стойких сосудов, деталей электротехнического назначения. Полистирол, полученный эмульсионным методом (ПСЭ - 1), используется для производства пенопластов.

**Полиизобутилен**  $[-\text{C}(\text{CH}_3)_2 - \text{CH}_2 - ]_n$  – полимер близкий по эластичности к каучуку, имеет хорошие диэлектрические свойства, стоек к старению, действию кислот, щелочей, окислителей, морозостоек (до  $-74^{\circ}\text{C}$ ). Применяется в смеси с каучуком для изоляции ультравысокочастотных кабелей и проводов. В смеси с графитом, тальком, асбестом используют как уплотнительный и прокладочный антикоррозионный материал.

**Полиметилметакрилат** (органическое стекло) – прозрачный полимер, стойкий к действию разбавленных кислот и щелочей, бензо- и масло- стоек, обладает оптической прозрачностью до  $92\%$ , морозостоек (до  $-60^{\circ}\text{C}$ ), растворяется в эфирах и кетонах, в органических растворителях, ароматических и хлорированных углеводородах. При температуре  $-105...+150^{\circ}\text{C}$  пластичен. Перерабатывается литьем под давлением, экструзией, прессованием. Имеет невысокую твердость. Применяется для изготовления светотехнических изделий, оптических линз, радиодеталей.

**Полиамиды**  $[-\text{NH} - (\text{CH}_2)_m - \text{CO} - ]_n$  (капрон, нейлон, анид и др.) – полимер, обладающий хорошими механическими свойствами, высокой износостойкостью.

Полиамиды не набухают в масле и бензине, не растворяются во многих растворителях, стойки к ударным нагрузкам и вибрациям, устойчивы в тропических условиях. Однако имеют некоторую гигроскопичность, не стойки к растворам минеральных кислот и окислителей, при повышенных температурах растворяются в муравьиной и уксусной кислотах, в фенолах. Полиамиды выпускаются в виде гранул белого и светло-желтого цвета размером 2... 5 мм марок ПА6, ПА12, ПА66, ПА610. Перерабатываются литьем под давлением и экструзией. Используются с наполнителями, в качестве которых применяется стекловолокно до 30% или графит до 10%.

Применяются для изготовления зубчатых колес, звездочек цепных передач, колес центробежных насосов, подшипников скольжения, а также нанесения защитных покрытий.

**Полиуретаны**  $[-\text{NH} - \text{CO} - \text{O} - ]_n$  – полимеры, обладающие высокой эластичностью, морозостойкостью (до  $-70^\circ\text{C}$ ), износостойкостью, устойчивы к действию разбавленных органических и минеральных кислот и масел. Перерабатываются литьем под давлением, экструзией и прессованием. Применяются для изготовления труб, шлангов, уплотнителей, приготовления клеев для склеивания металлов, стекла, керамики.

**Поликарбонаты**  $[-\text{OROCOR} - ]_n$  (дифлон) – полимеры, обладающие высокими механическими свойствами, атмосферо- и термостойки, диапазон рабочих температур от  $-135$  до  $+140^\circ\text{C}$ , стойки к воздействию разбавленных кислот, щелочей, растворов солей, масло- и бензостойки. Перерабатываются литьем под давлением и экструзией. Применяются для изготовления шестерен, подшипников, деталей машин и аппаратов, деталей криогенной техники.

**Полиарелаты**  $[-\text{OCRCORO} - ]_n$  – полимеры, имеющие высокие механические свойства, термостойки, диапазон температур от  $-100$  до  $+170^\circ\text{C}$ , устойчивы к действию многих химических реагентов и ультрафиолетового излучения, хорошо растворяются в хлороформе, трикрезоле, метилхлориде, наполненные твердыми смазками (графитом, дисульфидом молибдена и др.) обладают хорошими антифрикционными свойствами. Выпускаются в виде гранул, перерабатываются литьем под давлением.

Применяются полиарелаты для изготовления деталей электротехнического назначения; для нагруженных деталей, работающих в вакууме без смазки; для уплотнительных узлов буровой техники и др.

**Полиэтилентерефталат**  $[-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OCOC}_6\text{H}_4\text{OCO} - ]_n$  (лавсан) – полимер, обладающий высокими прочностными свойствами, устойчивый к действию ультрафиолетовых и рентгеновских излучений, негорюч, диапазон рабочих температур от  $-70^\circ\text{C}$  до  $+255^\circ\text{C}$ , легко металлизуется алюминием, цинком, оловом и другими металлами, в 10 раз прочнее полиэтилена, гигроскопичен, хорошо сваривается ультразвуком и склеивается полиэфирным лаком.

Полиэтилентерефталат применяется для теплостойкой изоляции обмоток трансформаторов, электродвигателей, кабелей, деталей радиоаппаратуры, конденсаторов, а также в качестве основы магнитофонных лент и киноплёнок.

**Пентапласт**  $[-\text{OCH}_2\text{C}(\text{CH}_2\text{Cl})_2\text{CH}_2 - ]_n$  – полимер, близкий по прочностным свойствам к поливинилхлориду, обладает высокой водо- и химической стойкостью, удовлетворительными электроизоляционными свойствами, перерабатывается литьем под давлением и экструзией, пневмоформованием, хорошо склеивается и сваривается, применяется для изготовления емкостей, труб, деталей насосов и защитных покрытий.

Полиамиды, полиимиды – полимеры, обладающие высокими механическими свойствами, химической стойкостью, износостойкостью и усталостной прочностью, хорошие диэлектрики, диапазон рабочих температур от  $-200$  до  $+300^\circ\text{C}$ .

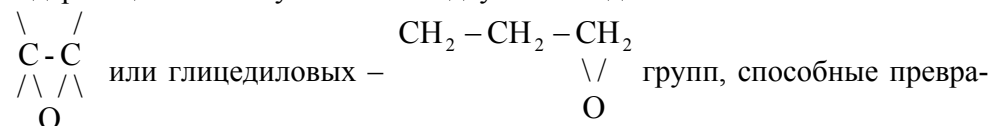
Применяются эти полимеры для изготовления деталей машин, зубчатых колес, подшипников, электротехнических деталей, а также как связующие для получения композиционных материалов.

**Полибензимидазолы** – полимеры, обладающие высокими механическими и диэлектрическими свойствами, термостойкостью и огнестойкостью, термостойкость может составлять от 300 до  $600^\circ\text{C}$ . Полибензимидазолы применяются для получения плёнок, волокон, тканей, используемых для изготовления летних и специальных костюмов, привязных авиаремней, при использовании в качестве связующего стеклопластиков, для изготовления теплозащитных материалов и деталей авиа- и ракетной техники.

## 2.2. Терморезистивные полимеры

Фенолоформальдегидные смолы представляют собой продукты поликонденсации фенолов с формальдегидом. Выпускаются смолы резольного и новолачного типа. Резольные смолы отверждаются путем нагревания, новолачные – при нагреве с отвердителем (уротропином, 6...14% массы смолы). Фенолоформальдегидные смолы обладают высокими атмосферостойкостью, хорошими электроизоляционными свойствами, стойки к действию большинства кислот, за исключением концентрированной серной кислоты и кислот-окислителей (азотной, хромовой). Неотвержденные смолы растворимы в фенолах и растворах едких щелочей, а также в органических растворителях.

Эпоксидные смолы – олигомеры или мономеры, содержащие в молекуле не менее двух эпоксидных



щаться в полимеры пространственного строения. Отверждаются смолы посредством отвердителей, в качестве которых могут использоваться мономерные, олигомерные и полимерные соединения различных классов.

Для холодного отверждения эпоксидных смол применяют в качестве отвердителей алифатические полиамины (полиэтиленполиамин, гексаметилендиамин, 5...15% массы смолы). Длительность отверждения 24 ч (степень отверждения до 70%). Для повышения степени отверждения желательна термообработка при температуре 60...120°C в течение 12...2 ч. Применяются для отверждения также олигоаминоамиды, но в количестве 50...100% массы смолы.

Для горячего отверждения применяют ароматические ди- и полиамины (15...50% массы смолы). Отверждение проводят при температуре 100...180°C в течение 16...4 ч. Прочность, химическая стойкость и теплоустойчивость эпоксидных компаундов при горячем отверждении выше, чем при холодном. Используют в качестве отвердителей также ангидриды дикарбоновых кислот и синтетические смолы (фенолоформальдегидные, мочевино- и метиламино-формальдегидные и др.).

Эпоксидные смолы обладают высокой адгезией к металлам, стеклу, керамике и другим материалам. Отвержденные смолы имеют хорошие диэлектрические свойства, высокую химическую стойкость, исключая орга-

нические кислоты, кетоны и углеводороды, стойки к воздействию радиоактивного излучения.

Кремнийорганические полимеры отличаются высокой термостойкостью, стойкостью к воздействию агрессивных сред, хорошими диэлектрическими свойствами, однако обладают высокой адгезией. Для повышения адгезионных свойств их модифицируют эпоксидными, фенольными и полиэфирными смолами. Наиболее широкое применение для производства композиционных материалов, лаков, эмалей и клеев из кремнийорганических полимеров получили полиорганосилоксаны.

Механические свойства ряда отвержденных термореактивных смол и кремнийорганических полимеров приведены в табл. 16.

Таблица 16

Свойства отвержденных термореактивных смол

Тип смолы	Марка	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Временное сопротивление $\sigma_v$ , МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Модуль упругости при растяжении, ГПа
Фенолоформальдегидная	Бакелит А	1200	42	2,0	2,10
	ВФТ	1200	50	3,4	2,45
	ФН	1250	51	1,6	3,26
Эпоксифенольная	ЭФ32-301	1200	37	1,5	2,78
Полиэфирная	ПН - 1	1100	42	5,0	2,1
Кремнийорганическая	К - 9	1210	11	0,6	1,72
	К - 93	1210	21	1,0	2,16

### 2.3. Композиционные материалы с волокнистыми наполнителями

Композиционные материалы (композиты) представляют собой гетерофазные системы, состоящие из двух и более разнородных компонентов. Компонент, непрерывный по всему объему материала, обеспечивающий его монолитность, называется матрицей, или связующим. Компоненты, распределенные в матрице, называются наполнителями. В качестве мат-

рицы могут применяться материалы на полимерной (органической и неорганической), металлической и керамической основе. Характер взаимодействия между материалами матрицы и наполнителя может быть инертным и активным (между материалами возникает химическая связь и эффективное адгезионное взаимодействие).

В зависимости от вида и структуры наполнителя композиты делятся на дисперсно-упрочненные, упрочненные волокнами, слоистые и газонаполненные.

В качестве волокнистых наполнителей используются хлопковые очесы (волокниты), кордовые нити (кордово-волокниты), асбестовое волокно (асбоволокниты), стекловолокно (стекловолокниты).

Волокниты – пластмассы на основе хлопковых очесов, пропитанных фенолоформальдегидной смолой. Материалы обладают повышенной, по сравнению с пресс-порошками, ударной вязкостью (до 10 кДж/м<sup>2</sup>), однако имеют значительно меньшую текучесть, что не позволяет получать тонкостенные детали. Волокниты имеют низкие диэлектрические свойства и неустойчивы к тропическому климату, обладают анизотропией свойств. Применяются они для изготовления изделий общетехнического назначения с повышенной стойкостью к вибрациям и ударным нагрузкам, работающим на изгиб и кручение, например, шкивов ременных передач, фланцев, рукояток, крышек и др.

Асбоволокниты – композиты, содержащие волокнистый минерал – асбест, расщепляющийся на тонкие волокна диаметром до 0,5 мкм. В качестве связующего используются фенолоформальдегидные и кремнийорганические смолы. Они обладают высокой ударной вязкостью и теплостойкостью до 200°C, устойчивы к кислым средам, имеют хорошие фрикционные свойства. Применяются в основном в качестве материалов для тормозных устройств (тормозные колодки, накладки, диски сцепления).

Асбоволокниты на фенолоформальдегидной основе используются для производства высокопрочных теплостойких деталей электротехнического назначения (электрические панели, высоко- и низковольтные коллекторы), а на основе кремнийорганических полимеров – для деталей, длительно работающих при температуре до 200°C (материал К-41-5), и дугогасящих камер контакторов большой мощности, клеммных колодок (КМК-218). Последние материалы тропикоустойчивы. Фаолит – асбоволокнит, полученный пропиткой асбоволокон фенолоформальдегидной

смолой с последующим вальцеванием смеси, используют для изготовления кислотоупорных труб, емкостей.

Стекловолокниты представляют собой пластмассы, содержащие в качестве наполнителя стекловолокна. Применяются стекловолокна диаметром 5...20 мкм высокопрочные с временным сопротивлением 600...3800 МПа и высокомодульные (ВМ-1, ВМП, М-11), имеющие предел прочности  $\sigma_b$  до 3900...4700 МПа и модуль упругости при растяжении до 110 ГПа. Используют волокна, нити, жгуты разной длины, что во многом определяет ударную вязкость стекловолокнита. Чем тоньше волокно, тем меньше его дефектность и выше прочность.

Механические свойства стекловолокнитов зависят от состава, количества и длины стекловолокна, типа связующего, физико-химических процессов, протекающих на границе раздела стекловолокно-связующее, метода переработки. Например, замена стекловолокна из стекла Е на волокно из стекла S (табл. 17) в эпоксидном связующем позволяет повысить прочность композита на 40%.

Таблица 17

**Физико-механические свойства стекловолокон**

Свойство	Тип волокна			
	Е	С	А	S
Плотность, 10 <sup>3</sup> кг/м <sup>3</sup>	2,53	2,46	2,46	2,45
Временное сопротивление, МПа	3700	3100	3100	4300
Модуль упругости при 25°C, ГПа	77	74	74	88
Удельное электрическое сопротивление, Ом·м	10 <sup>13</sup>	–	10 <sup>8</sup>	–

*Примечание:* Е – бесщелочное алюмосиликатное с хорошими диэлектрическими свойствами и теплостойкостью; С – с повышенной химической стойкостью; S – теплостойкое, высокопрочное; А – известково-натриевое или щелочное.

С целью улучшения смачиваемости стекловолокна связующим, снижения напряжений, возникающих на границе раздела, увеличения адгезии между волокном и связующим применяют обработку волокон соединениями, содержащими различные реакционноспособные группы (виниль-

ные, метакрильные, фенильные, амино- и иминогруппы и др.). Уменьшению напряжений в пограничном с волокном слое связующего, снижению усадки и пористости, повышению теплостойкости способствует введение в связующее порошкообразных наполнителей, в частности порошка отвержденного связующего.

Стекловолокниты подразделяют на спутанно-волокнистые, гранулированные и мелкодисперсные пресс-массы.

Спутанно-волокнистые стекловолокниты получают путем пропитки отрезков волокон длиной 40...70 мм с последующей распушкой и сушкой для удаления растворителя (например, АГ-4В). Недостатком этих материалов является неравномерность распределения связующего, большой разброс механических свойств и меньшая текучесть по сравнению с другими стекловолокнитами.

Гранулированные стекловолокниты получают путем пропитки некрученных стеклонитей и стекложгутов с последующей сушкой и резкой на гранулы длиной 5, 10, 20 и 30 мм. Диаметр гранул 0,5...8 мм. Материал обладает хорошими сыпучестью и текучестью, большей стабильностью механических свойств. К этой категории материалов относятся дозирующиеся стекловолокниты ДСВ.

Мелкодисперсные стекловолокнистые пресс-массы изготавливают путем смешивания измельченных стекловолокон длиной до 1,5 мм со связующим с последующим гранулированием (гранулы размером 3...6 мм). Выпускается также «стеклокрошка» с гранулами длиной до 10...50 мм из пропитанных отходов стеклоткани.

Стекловолокнит, гранулированный с гранулами размером до 6 мм, перерабатывается литьевым прессованием. Мелкодисперсные стекловолокниты можно перерабатывать литьем под давлением, а при изготовлении изделий с металлической арматурой – литьевым прессованием. Стекловолокнит с длиной гранул размером 10 мм перерабатывается литьевым и прямым прессованием, а при длине гранул длиной 20 и 30 мм – только прямым прессованием.

Из стеклопластиков изготавливают корпусные детали, элементы щитков, изоляторов, штепсельных разъемов, обтекателей антенн и т.д. Изделия, эксплуатируемые при температурах от -60 до +200°C, изготавливают на основе анилино-фенолоформальдегидных смол и бесщелочного алюмоборосиликатного стекловолокна, а для температурного диапазона – 60...100°C на основе эпоксидных смол. Стекловолокниты на основе крем-

нийорганических смол эксплуатируются до температуры 400°C, а с использованием кварцевого или кремнеземного волокна кратковременно и при более высоких температурах. Для деталей теплозащитного назначения применяют стекловолокниты на основе кремнеземного волокна и фенолоформальдегидных смол.

На основе стеклянных матов и непередельных полиэфирных смол получают препреги, которые используют для изготовления крупногабаритных деталей (кузова, лодки, корпусные детали приборов и т.п.). Применение ориентированных волокон позволяет получать стекловолокниты с повышенными механическими свойствами. Например, ориентированный стекловолокнит АГ-4С имеет предел прочности  $\sigma_b = 200...400$  МПа, ударную вязкость  $KCU=100$  кДж/м<sup>2</sup>, в то время как АГ-4В на основе путанного волокна  $\sigma_b = 80$  МПа,  $KCU = 25$  кДж/м<sup>2</sup>.

Органоволокниты представляют собой композиционные материалы на основе полимерных связующих, в которых наполнителем служат волокна органических полимеров (полиамидные, лавсан, нитрон, виол и др.). Для армирования используются также жгуты, ткани и маты из этих волокон. В качестве связующих применяют терморреактивные смолы (эпоксидные, фенолоформальдегидные, полиимидные и др.).

Использование полимерных связующих и наполнителей с близкими теплофизическими характеристиками, а также способных к диффузии и химическому взаимодействию между ними, обеспечивают композитам стабильность механических свойств, высокие удельную прочность и ударную вязкость, химическую стойкость, стойкость к термоудару, тропической атмосфере, истиранию. Допускаемая температура эксплуатации большинства органоволокнитов 100...150°C, а на основе полиимидного связующего и термостойких волокон – до 200...300°C. К недостаткам этих материалов следует отнести невысокую прочность при сжатии и ползучесть.

Для получения высокопрочных композитов применяют волокна на основе ароматических полиамидов (арамидные волокна СВМ, терлон, кевлар), обладающие высокими механическими свойствами, термостабильностью в широком диапазоне температур, хорошими диэлектрическими и усталостными свойствами. По удельной прочности эти волокна уступают лишь борным и углеродным.

Бороволокниты – композиционные материалы на полимерной матрице, наполненные борными волокнами. Они обладают хорошими механи-

ческими свойствами, низкой ползучестью, высокими тепло- и электропроводностью, стойкостью к органическим растворителям, горюче-смазочным материалам, радиоактивному излучению, циклическим знакопеременным нагрузкам.

Борные волокна получают путем химического осаждения бора из главной смеси  $\text{BCl}_3 + \text{H}_2$  на вольфрамовую нить при температуре близкой к  $1130^\circ\text{C}$ . Для повышения жаростойкости волокна покрывают карбидом кремния, также осаждаемым из парогазовой фазы в среде аргона и водорода. Такие волокна называют борсиком. В качестве связующих для бороволокнитов используют модифицированные эпоксидные смолы и полиамиды. Бороволокниты КМБ-3, КМБ-3к обеспечивают работоспособность изделий при температурах до  $100^\circ\text{C}$ , КМБ-1 и КМБ-1к до  $200^\circ\text{C}$ , а КМБ-2к до  $300^\circ\text{C}$ . С целью повышения технологичности переработки используют композиты, содержащие смесь борного волокна со стекловолокном.

Бороволокниты применяются в авиационной и космической технике для изготовления различных профилей, панелей, деталей компрессоров и др.

Карбоволокниты (углепластики) – композиционные материалы на основе полимерного связующего и углеродных волокон. Углеродные волокна отличаются высокой теплостойкостью, удельной прочностью, химической и атмосферостойкостью, низким коэффициентом термического линейного расширения.

Применяют волокна двух типов: карбонизованные и графитированные. В качестве исходного материала используют вискозные или полиакрилонитрильные (ПАН) волокна, каменные и нефтяные пеки, которые подвергаются специальной термообработке. В процессе высокотемпературной обработки в безокислительной среде происходит переход от органических волокон к углеродным. Карбонизация проводится при температуре  $900 \dots 2000^\circ\text{C}$ , а графитизация – при температурах до  $3000^\circ\text{C}$ . Углеродные волокна по механическим свойствам подразделяются на высоко модульные и высокопрочные. В качестве связующих используют термоактивные полимеры: эпоксидные, фенолоформальдегидные смолы, полиамиды и др., а также углеродные матрицы.

Карбоволокниты обладают хорошими механическими свойствами, статической и динамической выносливостью, водо- и химической стойкостью, стойкостью к рентгеновским излучениям, более высокой, чем у стеклопластиков, теплопроводностью.

Применяются карбоволокниты для изготовления конструкционных деталей авиационной и космической техники, антенн, автомобилей, судов, спортивного инвентаря. Основные свойства волокнитов представлены в таблице 18.

## 2.4. Композиционные материалы со слоистыми наполнителями

Слоистые композиционные материалы имеют листовые наполнители (ткани, бумагу, шпон и т.д.), пропитанные и скрепленные между собой полимерным связующим. Эти материалы обладают анизотропией свойств – имеют высокую прочность при растяжении вдоль слоев армирующего наполнителя и низкую в перпендикулярном направлении. Этот недостаток отсутствует у объемно-тканых или трехмерно-армированных материалов.

В качестве волокнистых армирующих элементов используют ткани на основе высокопрочных волокон различной природы: хлопчатобумажные, стеклоасботкани, органоткани, углеткани, органостеклоткани, бороорганостеклоткани. Ткани различаются между собой по соотношению волокон в основе и утке, по типу переплетения, что сказывается на их механических свойствах. Выпускаются слоистые композиты в виде листов, труб, заготовок.

Гетинакс – пластик на основе модифицированных фенольных, аминокформальдегидных и карбамидных смол и различных сортов бумаги. По назначению гетинакс подразделяется на декоративный и электротехнический. Декоративный гетинакс стоек к воздействию химикатов, пищевых продуктов, растворителей, может иметь любой цвет и рисунок. Применяется он для облицовки технической и бытовой мебели, внутренней облицовки салонов самолетов, кают судов, железнодорожных вагонов и т.д. Электротехнический гетинакс используется для изготовления панелей, приборных щитков и других целей. Для печатных радиотехнических изделий применяют гетинакс фольгированный (ГФ). В качестве фольги используется тонкий слой меди. Выпускается гетинакс, фольгированный с одной (ГФ-1) и с двух сторон (ГФ-2), нормальной и повышенной прочности и нагревостойкости, на что в марке указывает буква Н или П, стоящая после цифры, например ГФ-1П.

Основные свойства гетинаксов приведены в таблице 19.

Таблица 19

Свойства гетинаксов

Органогетинакс		Гетинакс
Бумага на ос-	Бумага на основе	Бумага цел-

Свойство	нове полиамида, связующее – полиимид	поливинилового спирта, связующее – фенолоформальдегидная смола	люлозная, связующее – фенолформальдегидная смола
Плотность, $10^3 \text{ кг/м}^3$	1,30	1,20...1,25	1,25...1,40
Временное сопротивление, МПа	155	70	70...80
Предел прочности при изгибе, МПа	170	135	80...100
Ударная вязкость, $\text{кДж/м}^2$	19	16	13
Электрическая прочность, кВ/мм	25...30	–	16
Диэлектрическая проницаемость при частоте 1 МГц	2,8	–	6,0
Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 1 МГц	0,015	–	0,05...0,1

Органогетинакс изготавливают на основе бумаги из синтетических волокон, чаще всего из ароматических полиамидов и поливинилового спирта. В качестве связующих применяют полиимиды, фенолоформальдегидные, эпоксидные и другие смолы. По сравнению с гетинаксами они имеют более высокую стойкость в агрессивных средах и стабильность механических и диэлектрических свойств при повышенных температурах.

Текстолит – слоистый пластик на основе полимерных связующих и хлопчатобумажных тканей. Материал обладает высокими механическими свойствами, стойкостью к вибрациям. В зависимости от основного назначения текстолиты подразделяются на конструкционные, электротехнические, графитированные, гибкие прокладочные.

Конструкционный текстолит марок ПТК, ПТ, ПТМ используется для изготовления зубчатых колес, подшипников скольжения, работающих при температурах в зоне трения не выше  $90^\circ\text{C}$ , в прокатных станах, турбинах, насосах и др. Выпускается в виде листов толщиной от 0,5 до 8 мм и плит



толщиной от 8 до 13 мм. Диэлектрическая прочность в трансформаторном масле до 8 кВ/мм.

Электротехнический текстолит используется в качестве электроизоляционного материала в средах с рабочей температурой от -65 до +165°C и влажностью до 65%. Выпускается он в виде листов толщиной от 0,5 до 50 мм марок А, Б, Г, ВЧ. Марка А – с повышенными электротехническими свойствами для работы в трансформаторном масле и на воздухе при промышленной частоте 50 Гц. Марка Б – с повышенными электротехническими свойствами для работы на воздухе при частоте 50 Гц. Марка Г – по свойствам и области использования аналогична марке А, но с расширенными допусками по короблению и толщине. Марка ВЧ – для работы на воздухе при высоких частотах (до 10<sup>6</sup> Гц).

Графитированный текстолит применяется для изготовления подшипников прокатного оборудования и выпускается в виде листов толщиной 1...50 мм, длиной до 1400 мм и шириной до 100 мм.

Гибкий прокладочный текстолит используют для производства уплотняющих и изолирующих прокладок в узлах машин, подвергаемых воздействию масел, керосина, бензина. Выпускают в виде листов толщиной 0,2...3,0 мм.

В асботекстолитах (табл. 20) и асбогетинаксах в качестве наполнителей содержится соответственно асботкань или асбобумага (до 60%), а в качестве связующего – фенолоформальдегидные и меламиноформальдегидные смолы, кремнийорганические полимеры, которые определяют допустимую температуру эксплуатации. Материалы на меламиноформальдегидной основе допускают работу изделий при температурах до 200°C, на фенолоформальдегидной до 250°C и на кремнийорганической до 300°C при длительной эксплуатации. Кратковременно температура может достигать 3000°C. Применяют асботекстолиты в основном для изготовления тормозных колодок, тормозных накладок, в качестве теплоизоляционного и теплозащитного материалов.

Таблица 20

Свойства асботекстолитов

Связующее	Плотность, 10 <sup>3</sup> кг/м <sup>3</sup>	Временное сопротивление	Предел прочности вдоль основы, МПа		Теплостойкость по Мар-
			при сжатии	при растяжении	
Фенолоформальдегидная смола	1,5...1,8	300...500	200...600	100...300	50...200
Эпоксидная смола	1,6...1,9	400...600	400...800	200...400	100...300
Полиэфирная смола	1,4...1,7	140...450	150...500	100...300	70...300
Кремнийорганическая смола	1,70...1,80	40...80	230...250	80...90	250...300

	Плотность, 10 <sup>3</sup> кг/м <sup>3</sup>	Временное сопротивление, МПа	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при растяжении, МПа	Температура, °C
Фенолоформальдегидная смола	1,40...1,80	40...150	140...150	70...245	200...250
Меламиноформальдегидная смола	1,75...1,85	45...85	190...350	115...170	100...200
Кремнийорганическая смола	1,70...1,80	40...80	230...250	80...90	250...300

Стеклотекстолиты изготавливают на основе стеклотканей и различных полимерных связующих (табл. 21). На фенолоформальдегидных смолах (КАСТ, КАСТ-В, КАСТ-Р) они более теплостойки, чем текстолит ПТК, но хуже по вибростойкости. На кремнийорганических смолах (СТК, СК-9Ф, СК-9А) имеют высокую тепло- и морозостойкость, обладают высокой химической стойкостью, не вызывают коррозии контактирующего с ним металла. Применяют стеклотекстолиты в основном для крупногабаритных изделий радиотехнического назначения, а также изготовления стеклотекстолита фольгированного марок СФ-1, СФ-2 при производстве печатных плат.

Таблица 21

Свойства стеклотекстолитов

Связующее	Плотность, 10 <sup>3</sup> кг/м <sup>3</sup>	Временное сопротивление, МПа	Предел прочности, МПа		Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>
			при статическом изгибе	при сжатии	
Фенолоформальдегидная смола	1,5...1,8	300...500	200...600	100...300	50...200
Эпоксидная смола	1,6...1,9	400...600	400...800	200...400	100...300
Полиэфирная смола	1,4...1,7	140...450	150...500	100...300	70...300
Кремнийорганическая смола	1,70...1,80	40...80	230...250	80...90	250...300

ническая смо- ла	1,6...1,9	150...350	150...500	100...350	35...250
Полиимиды	1,7...1,9	300...500	350...680	300...500	100...300

Высокой ударной вязкостью КСУ до 600 кДж/м<sup>2</sup>, временным сопротивлением до 1000 МПа обладают стекловолоконистые анизотропные материалы, армированные стеклошпоном (СВАМ). По удельной жесткости эти материалы не уступают металлам, а по удельной прочности в 2-3 раза превосходят их.

## 2.5. Композиционные материалы с газообразными наполнителями

Газонаполненные материалы представляют собой структуру, состоящую из твердой и газообразной фаз. Их подразделяют на две группы: пенопласты и поропласты. Пенопласты имеют ячеистую структуру, поры которой изолированы друг от друга полимерной прослойкой. Поропласты имеют открытопористую систему и присутствующие в них газообразные или жидкие продукты сообщаются друг с другом и окружающей средой.

Пенопласты получают на основе термопластичных полимеров (полистирола, поливинилхлорида, полиуретана) и термореактивных смол (фенолоформальдегидных, фенолокаучуковых, кремнийорганических, эпоксидных, карбамидных). Для получения пористой структуры в большинстве случаев в полимерное связующее вводят газообразующие компоненты, называемые порофорами (углекислый газ, азот, воздух и инертные газы).

Однако имеются и самовспенивающиеся материалы, например пенополиэфироуретановые, пенополиэпоксидные. Пенопласты на основе термопластичных смол более технологичны и эластичны, однако температурный диапазон их эксплуатации от -60 до +60°С.

Пенопласты на основе полистирола изготавливаются в виде гладких или профилированных пластин, полуоболочек или профильных изделий. Широкое применение они получили в качестве диэлектриков и упаковочных материалов при транспортировке различных стеклянных и других хрупких изделий. Такой пенопласт получают путем введения в полистирол порообразователя и нагревом массы до температуры 90...105°С. При этом объем первоначальных гранул увеличивается в 20-80 раз. После выдержки, необходимой для выравнивания давления, полученный полуфаб-

рикат загружают в пресс-форму и нагревают до температуры 100...110°С, пока не заполнится вся форма. Плотность полученного материала 10...30 кг/м<sup>3</sup>, поры закрытые, 98% объема составляет воздух. Пенополистирол радиопрозрачен. По такой технологии могут заполняться различные полости между металлическими, угле- или стеклопластиковыми оболочками с целью звуко- и теплоизоляции, увеличения плавучести и т.д. Недостатками материала являются растворимость в бензине, бензоле и горючесть.

Пенополивинилхлорид не поддерживает горения, но обладает более низкими диэлектрическими свойствами по сравнению с пенополистиролом. Применяется он в основном в качестве легкого заполнителя для тепло- и звукоизоляции.

Пенополиуретановые материалы получают из жидких компонентов – смеси полиспиртов и диизоцианатов. В зависимости от технологии можно получить мягкие, полужесткие и жесткие материалы с более высокой, чем у полистирольных пенопластов, термостойкостью.

Пенопласты на основе термореактивных смол допускают более высокие температуры эксплуатации, но они более хрупки. Поэтому в термореактивные смолы необходимо вводить пластификаторы или совмещать их с каучуками либо термопластичными смолами. Пенопласты на основе фенолоформальдегидных и фенолокаучуковых смол допускают работу при температурах до 120...150°С, а на основе полисилоксановых смол – до 300°С.

Самовспенивающиеся пенопласты применяются для заполнения труднодоступных мест и полостей сложной конфигурации.

Пенопласты используют для тепло- и звукоизоляции кабин, теплоизоляции рефрижераторов, труб, приборов и так далее, для повышения плавучести, удельной прочности, жесткости и вибростойкости силовых элементов конструкций. Объемная плотность пенопластов находится в пределах от 10 до 300 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность – от 0,002 до 0,06 Вт/(м·К).

Свойства некоторых газонаполненных материалов на основе пластмасс приведены в табл. 22.

Таблица 22

### Физико-механические свойства газонаполненных пластмасс

Полимерная основа	Марка	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа	Коэффициент теплопроводности, 10 <sup>-2</sup>	Рабочий диапазон температур, °С
Полистирол	ПС-1	100...200	1,0...2,7	3,9...5,4	-60...+60
Поливинилхлорид	ПХВ-1	60...130	0,2...1,0	2,6...4,4	То же
	ПХВ-2	130...220	0,8...1,5	5,2...5,6	То же

Окончание табл. 22

Полимерная основа	Марка	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа	Коэффициент теплопроводности, 10 <sup>-2</sup>	Рабочий диапазон температур, °С
Полиуретан	ПУ-101Т	200...250	3,3...3,4	4,0...4,8	-60...+200
	ППУ-304Н	30...50	0,2...0,5	2,3...3,5	-60...+100
Фенилокаучук	ФК-20	50...200	0,2...3,0	4,2...6,2	-60...+120
	ФК-20-А-20	140...200	0,8...2,3	6,5...7,5	-60...+200
Полисилоксан	К-20	250...300	1,4...1,9	4,8...5,1	-60...+140
Эпоксидная смола	ПЭ-2	100...300	0,7...5,0	3,0...0,7	-60...+140
	ПЭ-7	20...50	0,1...0,2	3,0...3,5	-60...+100

Поропласты получают в основном путем механического вспенивания композиций, например сжатым воздухом или с использованием специальных пенообразователей. При затвердевании вспененной массы растворитель, удаляясь в процессе сушки и отверждения из стенок ячеек, разрушает их. Сквозные поры можно получить, наполнив композиции водорастворимыми веществами. После прессования и отверждения изделия его погружают в нагретую воду, в которой вымываются растворимые вещества.

Поропласты применяют для изготовления амортизаторов, мягких сидений, губок, фильтров, в качестве вибродемпфирующих и звукоизоляционных прокладок в вентиляционных установках, глушителях, прокладок в касках и шлемах и т.д. Плотность их составляет 25...500 кг/м<sup>3</sup>.

Пластмассы, наполненные полыми частицами сферической формы, отличаются от пенопластов, описанных выше, тем, что вместо газовых включений они содержат микросферы диаметром 20...70 мкм, имеющие

толщину стенок 1,5...3,0% от диаметра. Полые сферические наполнители могут быть полимерными, стеклянными, керамическими и металлическими. Чаще применяются сферы из фенолоформальдегидной смолы и стекла.

В качестве связующих для получения пластмасс такого типа могут использоваться любые полимеры, но в большинстве случаев применяют эпоксидные и полиэфирные смолы. В зависимости от соотношения полого наполнителя и связующего получают литевые композиции и прессовочные пасты (табл. 23).

Изделия из литевых композиций изготавливают путем заливки их в формы или нанесения на поверхность оснастки с последующим отверждением. Из прессовочных паст можно получать изделия в пресс-формах под давлением 0,5...1,5 МПа или без давления, уплотняя шпателем.

Приведенные в таблице 23 материалы атмосферостойкости устойчивы к маслам, топливам и другим нефтепродуктам, не поражаются микроорганизмами, устойчивы к морскому туману, обладают хорошей адгезией к металлам и стеклопластикам. Пластмассы с полыми наполнителями используются при изготовлении различных плавучих средств, сэндвич-конструкций, теплозвукоизоляции.

## 2.6. Металлополимерные каркасные материалы

Металлополимерные каркасные материалы (МПК) представляют собой композиционные материалы, в которых несущей основой является трехмерная металлическая сетка или один лист (или несколько) конструкционной стали, а межкаркасные полости заполнены полимерной композицией, содержащей различные функциональные компоненты. Так, в судостроении и судоремонте широко используются трехслойные каркасные материалы (рис. 3), содержащие два металлических листа, между которыми размещается один или несколько слоев стеклоткани, пропитанных термореактивным полимером. Наилучшими адгезионными свойствами обладают клеи на основе многокомпонентных полимеров типа «Спрут», «ВАК», «Адгезив» и др.

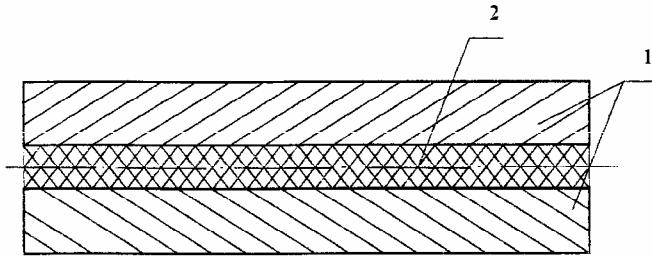


Рис. 3. Трехслойный каркасный материал:  
1 - металл; 2 - стеклопластик

В машиностроении нашли применение металлополимерные самосмазывающиеся материалы на основе металлокерамического каркаса и полимерных связующих, содержащих сухие смазки (графит, дисульфид молибдена, йодистый кадмий и др.) (рис. 4), несущей основой является трехмерная металлическая сетка.

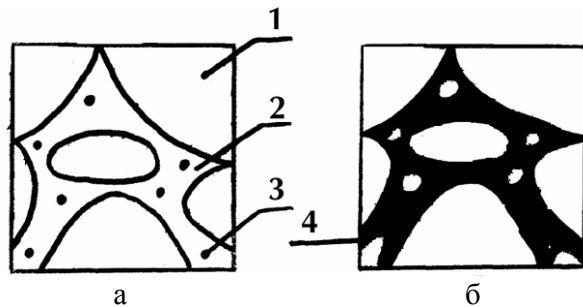


Рис. 4. Структура металлополимерного каркасного материала (а) и материала МПК (б):  
1 – частицы металла; 2 – полимер;  
3 – твердая смазка; 4 – пиролитический графит

Для получения металлокерамического каркаса используют порошки оловянистой бронзы, нержавеющей стали, стеклокерамику. Межкаркасные полости заполняют фторопластом-4 в смеси со свинцом. Материал МПК используется для изготовления подшипников скольжения, сепараторов подшипников качения, поршневых колец и др. Самосмазывающиеся материалы МПК работают до температуры 250°C и имеют коэффициент трения 0,05...0,12.

Для изготовления подшипников большого диаметра и вкладышей самосмазывающиеся материалы МПК припекают к металлической основе (ленте). Такие подшипники работают без смазки при температурах до 280°C, давлении до 300 МПа и имеют высокую износостойкость пар трения при низком коэффициенте трения, что позволяет иметь скорости скольжения до 5...10 м/с.

Зачастую в материалы МПК вводят углеграфитовые и металлизированные углеграфитовые ткани, пропитанные полимерными связующими с твердыми смазками.

## Глава 3. РЕЗИНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

### 3.1. Натуральный и синтетический каучук

Основой всякой резины является натуральный каучук (НК) или синтетический (СК), который обеспечивает пластичность исходной резиновой смеси (сырой резины) и во многом определяет основные физико-механические свойства резинового материала.

**Натуральный каучук** представляет собой продукт коагуляции млечного сока (латекса) бразильской гевеи. По химическому строению НК является продуктом полимеризации изопрена регулярной структуры с молекулярной массой от 70000 до 2500000. Плотность НК 910...920 кг/м<sup>3</sup>. С помощью специальных агентов можно перевести каучук в термостабильное состояние.

Натуральный каучук характеризуется высокой морозостойкостью (до -60°C), высоким сопротивлением истиранию, газо- и водонепроницаемостью, хорошими диэлектрическими свойствами и высокой эластичностью.

**Синтетический каучук (СК)** представляет собой продукт полимеризации однородных или разнородных мономеров углеводородного, нитрильного, сульфидного, силоксанового и других типов. Молекулы синтетических каучуков отличаются большей степенью разветвленности и, благодаря сочетанию различных звеньев, большим разнообразием свойств.

Основными типами синтетических каучуков, имеющих промышленное значение, являются бутадиеновые, бутадиен-стирольные, изопреновые, относящиеся к каучукам общего назначения, а также хлоропреновые, бутадиен-нитрильные, бутилкаучуки, этиленпропиленовые, уретановые,

силоксановые, фторкаучуки, полисульфидные (тиоколы) и другие, относящиеся к каучукам специального назначения.

**Бутадиеновый каучук** (СКБ) получают путем полимеризации бутадиена в присутствии катализатора – металлического натрия. Он имеет невысокую прочность и морозостойкость до  $-45^{\circ}\text{C}$ . Применяется в производстве прокладок, ковриков, различных уплотнителей, эбонитовых изделий, диэлектрических резин. В настоящее время заменяется в основном бутадиен-стирольными и другими каучуками.

**Бутадиен-стирольные (СКС) и бутадиен- $\alpha$ -метилстирольные каучуки** (СКМС) – продукты совместной полимеризации бутадиена со стиролом и бутадиена с метилстиролом – имеют высокое сопротивление истиранию. По морозостойкости они несколько уступают натуральному каучуку. Более морозостойки каучуки с пониженным содержанием стирола или метилстирола, например СКС-10, СКМС-10, СКС-10-1. Однако большей прочностью отличаются каучуки, содержащие больше стирола, например СКС-30, СКС-50.

**Изопреновый каучук** (СКИ) – продукт каталитической полимеризации изопрена. Каучук СКИ-3 по структуре и эластичности наиболее близок к натуральному каучуку, но имеет более низкую когезионную прочность. Выпускают изопреновые каучуки для электроизоляционных резин (СКИ-ЗД), вакуумной техники (СКМИ-ЗВ), пищевой промышленности (СКИ-ЗП). Изопреновые каучуки являются каучуками общего назначения и применяются в производстве транспортерных лент, амортизаторов, гуммирования аппаратуры и др.

**Хлоропреновый каучук (наирит)** представляет собой продукт эмульсионной полимеризации хлоропрена, относящийся к числу стереорегулярных кристаллизующихся полимеров. Выпускают хлоропреновые каучуки, модифицированные серой (наирит СР и КР) и не содержащие серы, с примесью меркаптанов (наирит П и НП). Наириты отличаются высокой стойкостью к атмосферным воздействиям и масло-бензостойкостью, стойкостью к спиртам, кетонам, нитросоединениям, соляной и уксусной кислотам, хлористому водороду, хорошо сопротивляются тепловому старению, не поддерживают горения после удаления пламени. Наириты используются для гуммирования химической аппаратуры, изготовления оплеток кабелей, транспортерных лент и др. Морозостойкость их до  $-40^{\circ}\text{C}$ .

**Бутадиен-нитрильные каучуки.** (СКН) являются продуктами совместной полимеризации бутадиена с нитрилом акриловой кислоты. СКН от-

носится к некристаллизующимся каучукам. Свойства вулканизатов зависят от количества нитрильных групп. С увеличением количества нитрильных групп повышается стойкость к действию масел и бензина, теплоустойкость, однако снижается эластичность и ухудшается морозостойкость. Например, морозостойкость СКН-18 составляет до  $-60^{\circ}\text{C}$ , а СКН-40 до  $-28^{\circ}\text{C}$ . Повышенной масло-бензостойкостью, тепло- и радиационной стойкостью и более высоким сопротивлением раздиру обладает каучук СКН-50СМ. Каучук СКН применяют для получения транспортерных лент, уплотнительных прокладок, манжет и т.п.

**Бутилкаучуки** (БК) представляют собой кристаллизующиеся каучуки с линейной структурой, получают их путем совместной полимеризации изобутилена с 0,6...3% изопрена. Они имеют высокую химическую стойкость, газо- и влагонепроницаемость, стойки к тепловому и атмосферному старению, к действию озона, кислот и щелочей. Бутилкаучуки применяют для изготовления резинотехнических изделий, от которых требуется повышенная тепло-, паро-, озono- и химическая стойкость.

**Этиленпропиленовые каучуки** являются некристаллизующимся продуктом совместной полимеризации этилена с пропиленом (СКЭП) и с добавкой диенов (СКЭПТ). Они обладают хорошими электроизоляционными свойствами и износостойкостью, низкой плотностью. Используются в основном для изготовления электроизоляционных изделий, герметиков, транспортерных лент и др.

**Уретановые каучуки** (СКУ) получают взаимодействием диизоцианатов с простыми (СКУ-ПФ, СКУ-ПФЛ) или сложными (СКУ-8, СКУ-7, СКУ-8П) эфирами. СКУ обладают высокой стойкостью к истиранию, набуханию в маслах, различных топливах и растворителях, озono- и светостойкостью, радиационной и вибростойкостью. Применяют СКУ для изготовления резинотехнических изделий, от которых требуется высокая износостойкость и стойкость к воздействию различных жидких сред.

**Фторкаучуки** (СКФ) – продукт сополимеризации ненасыщенных фторсодержащих углеводородов. СКФ обладают высокой теплоустойкостью, стойкостью к маслам, топливам, органическим жидкостям, сильным окислителям, негорючи. Их применяют в производстве уплотнительных и герметизирующих деталей, шлангов, рукавов, изоляции и прочих деталей, эксплуатируемых при температурах до  $200^{\circ}\text{C}$ , а кратковременно и до  $315^{\circ}\text{C}$ .

**Полисульфидные каучуки** (тиоколы) – продукты взаимодействия галоидопроизводных углеводов с соединениями щелочных металлов. Вулканизаты тиокола стойки к действию органических растворителей, озона, кислорода, обладают хорошей газонепроницаемостью, однако имеют невысокие механические свойства. Жидкие тиоколы – Т, НВТ, НВБ-1, НВБ-2 – применяют для изготовления герметизирующих паст и замазок.

**Силоксановые каучуки** представляют собой кремнийорганические полимерные соединения, основная цепь которых состоит из чередующихся атомов кремния и кислорода. Каждый атом кремния связан с двумя органическими радикалами. В зависимости от состава радикалов различают **диметилсилоксановые каучуки** (СКТ), **винилсилоксановые** (СКТВ), **фенилсилоксановые** (СКТФТ), **этилсилоксановые** (СКТЭ), **фенильный каучук** с винильными группами (СКТФВ). В марках низкомолекулярных каучуков добавляется в конце буква Н (например, СКТВН). **Силоксановые каучуки** обладают высокой термостойкостью (до 300°C) и морозостойкостью (до -100°C), хорошими электроизоляционными свойствами, устойчивы к ультрафиолетовому излучению, действию кислорода и озона. Однако они имеют невысокое сопротивление истиранию, нестойки к действию ряда топлив, масел. Применяются эти каучуки в основном для изготовления термостойких уплотнений и других элементов.

### 3.2. Наполнители, пластификаторы и другие вулканизирующие агенты резины

**Наполнители.** В производстве резин и резинотехнических изделий применяются порошкообразные и тканевые наполнители. Основные функции наполнителей:

- 1) изменение физико-механических свойств резин и придание им специальных свойств (например, электропроводности, химстойкости и др.);
- 2) облегчение обработки резиновых смесей;
- 3) снижение стоимости изделий.

Наполнители, улучшающие механические свойства резин, называются *активными*, или *усиливающими*. Наполнители, вводимые для снижения стоимости резинотехнических изделий и не оказывающие существенного влияния на свойства резин, называются *неактивными*, или *инертными*.

В качестве активных наполнителей используют углеродистую сажу, диоксид кремния («белая сажа»), силикаты металлов, некоторые органические продукты (синтетические полимеры, лигнин) и др. Например, введение сажи в каучуки СКВ, СКС, СКН увеличивает их временное сопротивление.

К инертным наполнителям относятся в основном различные неорганические продукты природного происхождения: мел, каолин, тальк, регенерат резины и др.

Прочность резиновых смесей зависит от дисперсности и удельной поверхности наполнителя. Активные сажи имеют дисперсность 0,05...0,15 мкм и удельную поверхность более 65 м<sup>2</sup>/г. Высокодисперсные сажи придают вулканизатам высокую прочность на разрыв и раздир, высокую износостойкость.

**«Белую сажу»** в качестве наполнителя применяют при получении светлых и цветных резин в пропорции 7/10. Она повышает механические свойства каучуков, их тепло- и огнестойкость. Для термостойких резин используют в качестве наполнителей также фторид и силикат кальция.

В производстве прорезиненных тканевых изделий, таких как шины, транспортерные ленты, приводные ремни, рукава и т.д., в качестве наполнителей используют корд, бельтинг и разнообразные рукавные ткани.

**Пластификаторы (мягчители)** вводят в каучук для облегчения совмещения его с остальными компонентами резиновой смеси, заполнения ею форм в процессе формования изделий, повышения адгезии каучука к тканям и пластичности. Наряду со своей основной функцией ряд мягчителей придает резинам специфические свойства: высокую морозостойкость, эластичность, низкую горючесть, газонепроницаемость, пониженную окисляемость. Содержание пластификаторов в резиновых смесях составляет от 8 до 30% от общей массы. Пластификаторы должны быть совместимы с каучуками, стойки при температурах переработки и вулканизации, быть нетоксичными. В качестве пластификаторов используются парафины, жирные кислоты, битумы, дибутилфталат, растительные масла, различные синтетические продукты.

Для увеличения долговечности резинотехнических изделий вводятся противостарители, т.е. органические вещества, повышающие стойкость резин к воздействию кислорода воздуха и теплоты, возникающей в результате гистерезисных потерь при деформировании резин. В качестве таковых используются различные фенолы, первичные ароматические

амины, ароматические диамины, в частности неозон Д, параоксинеозон, альдоль, воск и др.

Кроме антиоксидантов в резины вводят антирады, одоранты, красители и другие специальные добавки.

Основным процессом переработки каучука в резину является **вулканизация** – сшивка макромолекул каучука при нагреве под действием специальных вулканизирующих агентов. Продукт вулканизации принимает пространственно-сшитую структуру, от густоты сетки которой зависят физико-механические свойства резины.

В качестве вулканизирующего агента наиболее широкое применение нашла сера. Обычно используется сера дисперсностью 0,35...0,40 мкм. При содержании серы до 5% образуются редкосетчатые резины – мягкие, высокоэластичные. С увеличением содержания серы сетчатая структура становится более густой, резина – более твердой, и при максимально возможном насыщении каучука серой (32%) образуется твердый материал, называемый **эбонитом**.

Вещества, ускоряющие реакцию взаимодействия каучука с серой, носят название **ускорителей**. Наиболее распространенные ускорители – тиурам, каптакс, альтакс, гуанидины, сульфенамидные соединения. Для повышения эффективности их действия вводят дополнительно активаторы – оксиды металлов, в частности цинка и магния.

При вулканизации каучуков с низкой степенью непредельности, например бутилкаучуков, применяют в качестве вулканизирующих агентов фенолоформальдегидные смолы. Перекись бензоила используется для вулканизации силоксановых каучуков и фторкаучуков. Вулканизация этиленпропиленовых и силоксановых каучуков осуществляется перекисью дикумила.

### 3.3. Резины общего и специального назначения

Резины подразделяются на две группы: общего и специального назначения. К резинам общего назначения относятся резины на основе неполярных каучуков, натурального каучука, бутадиеновых, бутадиенстирольных, изопреновых каучуков и их комбинаций. Резины общего назначения могут работать в атмосферных условиях, в слабых растворах кислот и щелочей.

Рабочий диапазон температур составляет от -35...-50° до 130...250°С в за-

висимости от типа каучука. Выпускаются они в виде листов, пластин, рулонов, шнуров и др. Применяются для изготовления шин, приводных ремней, рукавов, транспортерных лент, кабельной изоляции и других резинотехнических изделий.

Резины специального назначения выпускаются с учетом специфики воздействия окружающей среды и условий эксплуатации и включают резины теплостойкие, маслостойкие, морозостойкие, стойкие к воздействию агрессивных сред, износостойкие, электротехнические, радиационностойкие и др.

**Теплостойкие резины** получают на основе полисилоксановых каучуков (СКТ), а также каучуков, содержащих винильные группы (СКТВ), фенильные и винильные (СКТФВ). Введение винильных групп повышает устойчивость к тепловому старению до 300°С, а фенильных – повышает морозостойкость до -100°С и сопротивляемость воздействию радиации.

**Маслостойкие резины** изготавливаются на основе хлоропреновых (наирит), изопреновых (СКП), полисульфидных (тиокол), уретановых (СКУ) каучуков. Резины работоспособны при длительном контакте с нефтепродуктами и растительными маслами, обладают хорошей износостойкостью.

**Морозостойкие резины** – резины на основе каучуков с низкой температурой стеклования, в частности на основе бутадиеновых (СКВ), бутадиен-нитрильных (СКН), силоксановых (СКТ), бутадиен-стирольных (СКС).

**Стойкими к воздействию агрессивных сред** (кислот и щелочей) являются резины на основе бутилкаучука, бутадиен-нитрильных, кремнийорганических, фторсодержащих, хлоропреновых, акриловых каучуков.

**Свето-озоностойкие резины** – резины на основе фторсодержащих (СКФ), этиленпропиленовых (СКЭП) и бутилкаучуков. Применяют их для изготовления уплотнительных элементов, диафрагм, гибких шлангов, в шинном производстве и др.

**Износостойкие резины** получают на основе полиуретановых каучуков (СКУ). Они обладают высокой маслостойкостью, стойки к кислороду и озону, к воздействию радиации. Применяют такие резины в уплотнительных элементах, в автомобильной промышленности, для изготовления прозрачных шлангов, элементов машин, испытывающих воздействие абразивов и т.д.

**Электротехнические резины** включают электроизоляционные, электропроводящие и магнитные резины. Электроизоляционные резины полу-

чают на основе неполярных каучуков НК, СКВ, СКС, СКТ и бутилкаучуков. Для них характерны высокое удельное сопротивление  $\rho_v = 10^{13} \dots 10^{17}$  Ом·м, относительная диэлектрическая проницаемость  $\epsilon = 2,4 \dots 4,0$ , тангенс угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta = 0,005 \dots 0,010$ . Эти резины идут на изготовление кабельной изоляции, специальных перчаток и обуви.

**Электропроводящие резины** получают на основе натурального каучука, СКН, наирита путем наполнения их электропроводящими наполнителями, в частности углеродной сажей, графитом и др. Для этих материалов характерно значение  $\rho_v = 10^4 \dots 10^6$  Ом·м. Применяют их в основном для получения токопроводящих покрытий.

При наполнении аналогичных каучуков магнитными дисперсными наполнителями получают **магнитные резины**.

**Радиационные резины** на основе фторсодержащих, бутадиеннитрильных, бутадиен-стирольных каучуков, наполненные оксидами свинца и бария, применяют с рентгенозащитной целью, для изготовления деталей рентгеновской аппаратуры, защитной одежды для работы с радиоактивными изотопами и др.

В промышленности используются также вакуумные, вибро-, водо-, огнестойкие, медицинские, пищевые и другие специальные резины.

Твердая резина (эбонит) обладает высокой химической стойкостью, твердостью, высокими диэлектрическими свойствами, хорошо обрабатывается резанием, полируется. Для производства эбонита применяют любые каучуки, однако эбониты на основе синтетических каучуков более теплостойки, чем на основе натуральных каучуков. При производстве эбонитов в композиции, кроме каучуков и серы, вводят различные ингредиенты: ускорители, мягчители, наполнители и другие, которые позволяют увеличить скорость вулканизации, уменьшить усадку изделий, повысить твердость и водостойкость.

Эбонитовые изделия подразделяются на поделочные и формовочные. Поделочные эбониты выпускают в виде стержней диаметром от 5 до 75 мм и длиной до 500 мм, а также пластин толщиной от 4 до 30 мм, длиной 1000 мм и шириной до 500 мм и в виде трубок для производства деталей радиоаппаратуры, медицинского и другого оборудования в качестве изоляционного материала. Эбонит имеет следующие электрические характеристики: удельное поверхностное и объемное электрическое сопротивление не менее  $10^{13}$  Ом·м, тангенс угла диэлектрических потерь не более

0,02, электрическая прочность 25...60 кВ/мм. Формовочные эбониты изготавливают в виде аккумуляторных баков, крышек, пробок, медицинских воронок и других деталей.

### 3.4. Герметики

Герметиками называют материалы, используемые для уплотнения неподвижных соединений, эксплуатируемых в условиях воздействия высоких и низких температур, вакуума, различных агрессивных сред и излучений, с целью предотвращения утечки рабочей среды или проникновения внешней среды в соединения. Герметики широко используются в машино-, автомобиле- и судостроении для уплотнения сварных швов кузовов, различных емкостей, защиты днищ и крыльев машин от коррозии, уплотнения болтовых, заклепочных, фланцевых соединений и др. Герметики также применяются в радиотехнической промышленности для герметизации электронных блоков, работающих на открытом воздухе или в агрессивных средах. Также большое количество герметиков используется в строительстве для уплотнения стыков стальных панелей, оконных и дверных проемов, защиты сварных соединений и др.

Для выполнения своих функций герметики должны обладать жизнеспособностью, липкостью, пластичностью, хорошей адгезией и другими свойствами. Основой для герметиков в основном являются синтетические каучуки и олигомеры, а также полимеры, битумы и другие вещества, обладающие низкой эластичностью.

В зависимости от основы герметики подразделяются на вулканизирующиеся, невысыхающие и высыхающие.

**Невысыхающие герметики** представляют собой термопластичные материалы, которые при определенной температуре способны переходить в вязкотекучее состояние, а при охлаждении – вновь в пластическое или пластоэластическое состояние. Основой их являются каучуки с низкой непредельностью (содержащие небольшое количество двойных связей) или полностью насыщенные каучуки – полиизобутиленовый, этиленпропиленовый, бутилкаучук. Герметики этого типа не требуют вулканизации, обладают высокой стойкостью к воздействиям атмосферных факторов, озона, кислот и щелочей, окислителей, обладают хорошими диэлектрическими свойствами, газо- и водонепроницаемостью. Невысыхающие герметики могут выпускаться отформованными в виде жгутов или полос



различного сечения и длины, а также в виде текучей или пастообразной массы. Ими возможна герметизация стыков любой конфигурации. Невысыхающие герметики широко применяются для уплотнения разъемных и неразъемных соединений, а также уплотнения различного рода стыков и швов.

Для герметизации различных соединений (разъемных), емкостей, приборов и аппаратов используются герметики 51-Г-3, 51-Г-4. В автомобилестроении для герметизации отверстий и щелей на стыках металлических участков кузовов применяют герметики 51-Г-7, УА-01; для уплотнения стекол – У-20А, У-22, 51-Г-6. Герметик У-20А используют для герметизации заклепочных, винтовых и болтовых соединений. Защитой паяных соединений от коррозии служит герметик 51-Г-4м. В строительстве для уплотнения стыков наружных стеновых панелей и других целей применяются герметики УМС-50, бутэпрол и др. Диапазон рабочих температур герметиков 51-Г-3, 51-Г-4, 51-Г-6, 51-Г-7 от -50 до 100°С, остальных - до 70°С.

**Высыхающие герметики** также относятся к термопластичным материалам и представляют собой растворы резиновых смесей в органических растворителях. После нанесения на поверхность и улетучивания растворителя они становятся эластичными. Основой этих герметиков являются высокомолекулярные вулканизирующиеся каучуки – бутадиен-стирольные, бутадиен-нитрильные, хлоропреновые и другие, а также невулканизирующиеся каучуки – изопрен-стирольные, уретановые и другие в сочетании с различными смолами. Высыхающие герметики выпускаются однокомпонентными, при загустевании их можно доводить до нужной вязкости растворителями. Наносятся высыхающие герметики кистью или шпателем. Шпателем наносят за один прием слой толщиной не более 3 мм. Более толстые покрытия наносят в несколько слоев с промежуточной сушкой. При высыхании эти герметики дают значительную усадку. Высыхающие герметики применяются для поверхностной и, ограниченно, для внутрিশовной герметизации.

**Вулканизирующиеся (отверждающиеся) герметики** представляют собой жидкие или вязкотекучие пасты, переходящие при воздействии теплоты и специальных агентов в процессе вулканизации (отверждения) в эластичные газо- и гидронепроницаемые материалы, хорошо уплотняющие соединения. Эти герметики представляют собой термореактивные материалы, основой которых являются низкомолекулярные каучуки или

олигомеры с реакционноспособными группами (ОН, СООН, SH, Cl, NCO и др.), полисульфидные низкомолекулярные каучуки (жидкие тиоколы), силоксановые, фторсилоксановые, олигомерные, углеводородные каучуки и др. Они обычно состоят из 2-3 компонентов (вулканизирующие агенты, ускорители вулканизации, отвердители), которые поставляются отдельно и смешиваются в определенной пропорции перед применением. При вулканизации усадка практически отсутствует. Вулканизирующиеся герметики применяют главным образом для неразъемных соединений. Вулканизация может производиться путем обработки, нагретым воздухом или нейтральным газом, выдержки в термостате или печи, местного прогрева с помощью токов высокой частоты, направленного лучеоблучения и др.

Наиболее универсальными и распространенными среди вулканизирующихся герметиков являются тиоколовые герметики. Они обладают удовлетворительными физико-механическими, адгезионными и диэлектрическими свойствами, высокой эластичностью, стойки к воздействию атмосферных факторов, озона, радиации, горюче-смазочных материалов, разбавленных кислот и щелочей. Эти герметики обеспечивают эксплуатацию изделия при температурах от -60 до +130°С.

С целью повышения их адгезии к металлам и стеклу на поверхность наносят клеевой подслои. С течением времени происходит старение герметиков, увеличивается их жесткость, прочность при разрыве снижается незначительно.

Из тиоколовых герметиков широкое применение для герметизации металлических, древесных и других соединений, работающих в среде разбавленных кислот и щелочей, жидкого топлива и на воздухе, в контакте с морской водой и при воздействии радиации, получили герметики У-3ОМ и УТ-31 с клеевым подслоем. Для герметизации болтовых, заклепочных и других металлических соединений применяют герметики типа У-3ОМЭС-5, У-3ОМЭС-10, УТ-32 без клеевого подслоя. Для заполнения зазоров и щелей используется герметик УТ-34. В приборостроении применяются герметики типа 51-УТ-36А, 51-УТ-36Б. Для герметизации кабин и топливных отсеков используют герметики ВИТЭФ-2 и ВИТЭТ-1, АН-0,5. Недостатками тиоколовых герметиков является нежелательность использования их в контакте с серебряными, медными и латунными поверхностями, малое сопротивление раздиру и износу.

Процесс герметизации включает следующие технологические операции: приготовление герметика, подготовку поверхностей деталей или уз-

лов, нанесение герметика, его вулканизацию или отверждение (если это необходимо).

Приготовление герметика заключается в смешивании компонентов (для двух- или многокомпонентных герметиков в состоянии поставки) в специальных мешалках или смесителях для получения гомогенной смеси.

Подготовка поверхности необходима для обеспечения хорошей адгезии герметика к защищаемой поверхности. Поверхности очищают от различных загрязнений, следов коррозии и обезжиривают. Иногда используют оксидирование и фосфатирование поверхностей. Пористые поверхности обрабатывают специальными грунтовками для закупорки пор. При необходимости для увеличения адгезии наносится клеевой подслои (рис. 5).

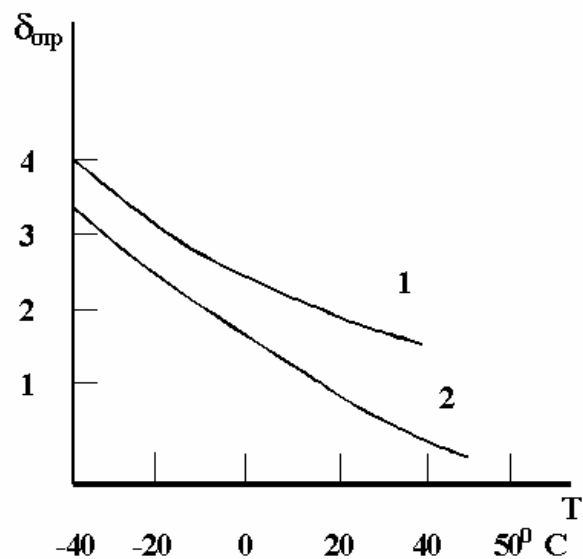


Рис. 5. Влияние температуры на сопротивление отрыву герметика У-30М от стали 45ХГСА:  
1 – с подслоем; 2 – без клеевого подслоя

Нанесение герметиков на небольшие поверхности осуществляется с помощью шпателей, шприцов и различных лопаток, пластинок. Для больших поверхностей в массовом производстве используются пневмо- и гидрошприцы и специальные устройства.

Для герметизации металлических соединений, контактирующих с водой и топливом, применяют высыхающий герметик ВГК-18, для защиты металлических поверхностей от разбавленных минеральных кислот и щелочей – 51-Г-10. Защиту от коррозионного и абразивного разрушения обеспечивает герметик 51-Г-14. По теплостойкости герметики подразделяются на три класса: низкой теплостойкости до 50...70°C, средней – до 100...150°C и высокой свыше 200°C.

Теплостойкие силоксановые герметики изготавливают на основе жидких силоксановых каучуков. Они обладают высокой эластичностью, свето- и атмосферостойкостью, стойки к ультрафиолетовому излучению, разбавленным кислотам и щелочам, гидрофобны и газонепроницаемы, устойчивы в условиях тропического климата, нетоксичны, теплостойки при температурах до 200...300°C, имеют хорошие диэлектрические и технологические свойства. Однако у них невысокая прочность и низкое сопротивление истиранию. В различных отраслях промышленности получили широкое применение такие силоксановые герметики, как ВИКСИНТ. У-1-18 У-5-21, У-2-28, К-18, КЛТ-30, КЛСЕ, ВГО-1, ВГО-2, эластосил 11.01, КАВСЕ-305 и др. Для повышения адгезии силоксановых герметиков к металлическим поверхностям применяют специальные грунты и подслои на основе аminosиланов.

На основе фторсодержащих каучуков изготавливают тепло-топливостойкие герметики типа ВГФ-1, ВГФ-2, 51-Г-15, 51-Г-1, 51-Г-2 с теплостойкостью до 250°C. Для повышения адгезии их применяют с клеевым подслоем. Герметики данного типа используют в основном для поверхностной герметизации.

### 3.5. Компаунды

**Компаундами** называются электроизоляционные композиции на основе полимеров, олигомеров или мономеров, предназначенные для заливки или пропитки токопроводящих схем и деталей в электро- и радиоаппаратуре с целью их монолитизации и изоляции.

По назначению компаунды подразделяются на пропиточные, заливочные и обмазочные.

**Пропиточные компаунды** применяются для пропитки обмоток электрических машин и аппаратов с целью монолитизации витков обмоток и защиты их от влаги.

**Заливочные компаунды** используют для заливки полостей в кабельных муфтах и воронках, а также в корпусах электрических аппаратов, например трансформаторов тока, дросселей и т.п. Они позволяют получать изделия в виде малогабаритных монолитных блоков любой конфигурации, не требующих дополнительной механической обработки.

**Обмазочные компаунды** применяют для обмазки лобовых частей обмоток электрических машин с целью защиты их от влаги, масла и других внешних воздействий.

По природе связующего компаунды можно разбить на две группы: термопластичные и терморезистивные. **Термопластичные** компаунды изготавливают на основе битумов, воскообразных диэлектриков (парафина, церезина и др.), термопластичных полимеров (полистирола, полиметилметакрилата).

**Терморезистивные** компаунды выпускаются на основе эпоксидных, полиэфирных, кремнийорганических и других смол.

Для пропитки обмоток электрических машин применяют битумный пропиточный компаунд №225, обладающий низкой плотностью (920...1100 кг/м<sup>3</sup>), морозостойкостью до -25°C, хорошими диэлектрическими свойствами. Удельное объемное сопротивление  $\rho_v = 10^{15} \dots 10^{16}$  Ом·м, электрическая прочность  $E_{пр} = 18 \dots 20$  кВ/мм. Температура размягчения этих компаундов составляет 98...102°C, усадка – 7...8%.

Для заливки концевых воронок и полостей в кабельных соединениях напряжением до 10 кВ применяют битумные заливочные компаунды МБ-70, МБ-90, МБМ-1, МБМ-2. Компаунд МБ-70, имеющий низкую морозостойкость (-15°C), используется для заливки муфт, прокладываемых в земле. Остальные, обладающие морозостойкостью до -35...-45°C, применяют при монтаже наружных установок. По электрическим свойствам они близки к компаунду пропиточному  $\rho_v = 10^{15} \dots 10^{16}$  Ом·м,  $E_{пр} = 15 \dots 18$  кВ/мм. Усадка при отверждении – 7...9%.

Из битумных обмазочных компаундов наиболее широко используется компаунд 4401.

**Эпоксидные компаунды** отличаются высокими диэлектрическими и физико-механическими свойствами, мало изменяющимися при длительном нагреве до 120...140°C. В зависимости от типа отвердителя компаунды могут быть холодного и горячего отверждения. Компаунды холодного отверждения могут применяться при длительном воздействии температур до 120°C, а горячего отверждения – до 160°C длительно и до 200°C крат-

ковременно. Наиболее распространенные компаунды – ЭЗК-6 и ЭПК-1. Плотность компаундов 1220...1230 кг/м<sup>3</sup>, удельное объемное сопротивление  $\rho_v = 10^{16} \dots 10^{17}$  Ом·м, электрическая прочность  $E_{пр} = 16 \dots 18$  кВ/мм.

**Полиэфирные компаунды** изготавливают на основе хорошо растворимых в неопределенных соединениях ненасыщенных полиэфирных смол, которые при нагреве в присутствии инициаторов превращаются в трехмерные твердые полимеры. По механическим свойствам полиэфирные компаунды несколько уступают эпоксидным. Допускаемая температура эксплуатации их до 120°C, морозостойкость до -60°C. Выпускаются компаунды КГМС-1, КГМС-2, КП-10, КП-18, имеющие хорошие диэлектрические свойства:  $\rho_v = 10^{15}$  Ом·м,  $E_{пр}$  для КГМС-1 составляет 18 кВ/мм, а для КП-10 – 25 кВ/мм. Тангенс угла диэлектрических потерь – 0,04.

**На основе кремнийорганических смол** выпускаются компаунды холодного (КЛ, ВИКСИНТ, ВТО) и горячего (К-67) отверждения. Эти компаунды обладают хорошими диэлектрическими свойствами, мало изменяющимися при повышенных температурах и во влажной среде:  $\rho_v = 10^{15} \dots 10^{16}$  Ом·м,  $E_{пр} = 15 \dots 32$  кВ/мм,  $\text{tg} \delta = 0,003 \dots 0,04$ .

**Метакрилатные компаунды** выпускают марок МБК-1 (без пластификатора) и МБК-2, МБК-3 (пластифицированные). При отверждении они дают усадку 5...6%. Эти компаунды обладают следующими диэлектрическими свойствами: МБК-1 –  $\rho_v = 10^{16}$  Ом·м,  $E_{пр} = 20 \dots 28$  кВ/мм,  $\text{tg} \delta = 0,06$ ; МБК-2, МБК-3 –  $\rho_v = 10^{14} \dots 10^{15}$  Ом·м,  $E_{пр} = 18 \dots 21$  кВ/мм,  $\text{tg} \delta = 0,04 \dots 0,09$ .

**Полиуретановые компаунды**, имеют высокие морозостойкость (до -80°C) и эластичность. Однако у них невысокая механическая прочность, более низкие диэлектрические свойства и значительная их зависимость от температуры при нагреве выше 80°C. Компаунды марок КТ-102 и КГ-102 полимеризуются при температуре 60°C и имеют  $\rho_v = 10^{13}$  Ом·м,  $E_{пр} = 17$  кВ/мм. Компаунды К-30 и К-31 полимеризуются при температуре 80°C и обладают более низкой электрической прочностью ( $E_{пр} = 6,5$  кВ/мм). Усадка при отверждении – 7...9%.

Из битумных обмазочных компаундов наиболее широко используется компаунд 4401.

**Эпоксидные компаунды** отличаются высокими диэлектрическими и физико-механическими свойствами, мало изменяющимися при длитель-

ном нагреве до 120...140°C. В зависимости от типа отвердителя компаунды могут быть холодного и горячего отверждения. Компаунды холодного отверждения могут применяться при длительном воздействии температур до 120°C, а горячего отверждения – до 160°C длительно и до 200°C кратковременно. Наиболее распространенные компаунды – ЭЗК-6 и ЭПК-1. Плотность компаундов 1220...1230 кг/м<sup>3</sup>, удельное, объемное сопротивление  $\rho_v = 10^{16} \dots 10^{17}$  Ом·м, электрическая прочность  $E_{пр} = 16 \dots 18$  кВ/мм.

**Полиэфирные компаунды** изготавливают на основе хорошо растворимых в неопределенных соединениях ненасыщенных полиэфирных смол, которые при нагреве в присутствии инициаторов превращаются в трехмерные твердые полимеры. По механическим свойствам полиэфирные компаунды несколько уступают эпоксидным. Допускаемая температура эксплуатации их до 120°C, морозостойкость до -60°C. Выпускаются компаунды КГМС-1, КГМС-2, КП-10, КП-18, имеющие хорошие диэлектрические свойства:  $\rho_v = 10^{15}$  Ом·м,  $E_{пр} = 15 \dots 32$  кВ/мм,  $\text{tg}\delta = 0,003 \dots 0,04$ .

**Метакрилатные компаунды** выпускают марок МБК-1 (без пластификатора) и МБК-2, МБК-3 (пластифицированные). При отверждении они дают осадку 5...6%. Эти компаунды обладают следующими диэлектрическими свойствами: МБК-1 –  $\rho_v = 10^{16}$  Ом·м,  $E_{пр} = 20 \dots 28$  кВ/мм,  $\text{tg}\delta = 0,06$ ; МБК-2, МБК-3 –  $\rho_v = 10^{14} \dots 10^{15}$  Ом·м,  $E_{пр} = 18 \dots 21$  кВ/мм,  $\text{tg}\delta = 0,04 \dots 0,09$ .

**Полиуретановые компаунды** имеют высокие морозостойкость (до -80°C) и эластичность. Однако они обладают невысокой механической прочностью, более низкими диэлектрическими свойствами и значительной их зависимостью от температуры при нагреве выше 80°C. Компаунды марок КТ-102 и КГ-102 полимеризуются при температуре 60°C и имеют  $\rho_v = 10^{13}$  Ом·м,  $E_{пр} = 17$  кВ/мм. Компаунды К-30 и К-31 полимеризуются при температуре 80°C и обладают более низкой электрической прочностью ( $E_{пр} = 6,5$  кВ/мм).

## Глава 4. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

### 4.1. Неорганические стекла и эмали для защиты металлов

**Неорганическое стекло** представляет собой аморфный, изотропный, прозрачный, твердый и хрупкий термопластичный материал, получаемый

в результате переохладения расплава различных стеклообразующих компонентов и оксидов металлов. По стеклообразующему веществу стекла классифицируются на: 1) силикатные ( $\text{SiO}_2$ ); 2) алюмосиликатные ( $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ ); 3) алюмоборосиликатные ( $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ ); 4) алюмофосфатные ( $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{P}_2\text{O}_5$ ) и др.

Наличие в стекле модификаторов (оксидов щелочных и нещелочных металлов) позволяет придать ему определенные физико-механические свойства.

По назначению стекла подразделяются на **техническое** (оптическое, светотехническое, медицинское, химико-лабораторное, электротехническое, автотранспортное и др.), **строительное** (оконное, витринное, армированное, стеклоблоки), **бытовое** (стеклотара, зеркала и пр.).

Переработка стекломасс в изделия осуществляется при температуре 1000...1100°C, температура размягчения – 600...800°C, при температуре ниже 500...425°C стекла переходят в стеклообразное состояние.

Плотность стекол зависит от их химического состава и лежит в пределах от 2200 до 6500 кг/м<sup>3</sup>. При нормальных температурах стекла не имеют пластической деформации и обладают низким временным сопротивлением (30...90 МПа), при сжатии предел прочности составляет 500...2000 МПа. Стекла обладают низкой ударной вязкостью 1,5...2,5 кДж/м<sup>2</sup>.

Для изменения свойств стекол применяют его термическую обработку. Так, отжиг обеспечивает снятие внутренних напряжений, а закалка позволяет повысить механическую прочность и термическую стойкость.

**Термические свойства стекол** характеризуются теплопроводностью, термостойкостью и тепловым расширением. Самую низкую теплопроводность имеют свинец- и барийсодержащие стекла, а более теплопроводны кварцевые и боросиликатные стекла, коэффициент теплопроводности лежит в пределах от 0,68 до 1,55 Вт/м·К. Для большинства видов стекол термостойкость лежит в пределах от 90 до 170°C, а для кварцевого от 800 до 1000°C. Коэффициент теплового расширения может изменяться в широких пределах (в 10 раз и более) и зависит от содержания оксидов (оксиды бария, свинца, натрия, лития, калия увеличивают коэффициент теплового расширения; оксиды бора, кремния, титана, цинка – уменьшают.).

При нормальных температурах стекла имеют высокую химическую стойкость к действию воды и кислот (кроме плавиковой и фтористой), в то же время в растворах щелочей прочность стекла резко снижается. При температурах ниже 200°C стекла являются отличными диэлектриками и

используются в качестве высоковольтных изоляторов ( $\rho_v=10^{10} \dots 10^{20}$  Ом·м;  $E_{пр}=100 \dots 600$  кВ/мм – на постоянном токе и  $E_{пр}=16 \dots 50$  кВ/мм – на переменном токе).

Важнейшими свойствами стекол являются оптические свойства: **светопрозрачность, отражение, рассеивание, поглощение и преломление света**. Обычное оконное стекло пропускает до 90%, отражает 8%, поглощает 1% видимого и частично инфракрасного света, почти полностью поглощает ультрафиолетовые лучи. Прозрачным для ультрафиолетовых лучей являются кварцевые стекла. Коэффициент преломления стекол составляет 1,47...1,96. При введении большого количества оксида свинца стекло поглощает рентгеновские лучи.

Для упрочнения стекол применяется их закалка, термохимическая обработка и создание слоистых материалов – триплексов и термопанов.

**Закалка** заключается в нагреве стекол до температуры 500...700°C и резкого равномерного охлаждения в потоке воздуха или в масле. При этом сопротивление статическим нагрузкам увеличивается в 3-6 раз, ударная вязкость в 5-7 раз. При закалке также возрастает термостойкость стекол.

**Термохимическое упрочнение** основано на обработке поверхности плавиковой кислотой (для снижения дефектности поверхности) с последующей закалкой в кремнийорганических жидкостях, в результате чего меняется структура стекла, а на его поверхности образуется прочная полимерная пленка.

**Триплексы** представляют собой два листа закаленных стекол толщиной 2...3 мм, склеенных тонкой прозрачной эластичной полимерной пленкой. **Термопаны** также изготавливаются из двух листов закаленных стекол с воздушной прослойкой между ними. Стекла этого вида являются безосколочными.

**Триплекс, термопан и закаленные стекла** применяются для остекления транспорта. В литейных и мартеновских цехах используются стекла с большим содержанием оксидов железа и ванадия, они поглощают до 70% инфракрасного излучения. **Оптические стекла**, используемые в приборах, подразделяются на **кроны** (с малым коэффициентом преломления), **флинты** (с большим содержанием свинца и большим коэффициентом преломления), **светорассеивающие стекла** (содержат фтор). В электротехнической промышленности широко используются электропроводящие халькогенидные, оксидно-ванадиевые стекла, а также литиевые, магниевые, борные и фотоситаллы. Для футеровки емкостей, контактирующих с

агрессивными средами, для защиты металлических поверхностей от коррозии и воздействия высоких температур применяются шлакоситаллы (на основе доменных шлаков, кварцевого песка и катализаторов).

**Ситаллы** представляют собой поликристаллические материалы с очень мелкими равномерно распределенными по объему кристалликами диаметром 0,01...1,0 мкм, соединенными тонкими прослойками остаточного стекла. Плотность ситаллов 2450...2950 кг/м<sup>3</sup>. Временное сопротивление 110...160 МПа, предел прочности при сжатии 700...2000 МПа, ударная вязкость  $\psi=45 \dots 105$  кДж/м<sup>2</sup>. Ситаллы устойчивы к кислотам и щелочам, не поглощают воду, стойки к термоударам.

Для изготовления стекловолокна и стеклотканей используются термоизоляционные материалы АСИМ, АТИМС, АТМ-3 и др. Температурный диапазон их эксплуатации составляет от -60 до +500°C, плотность – 20...130 кг/м<sup>3</sup>.

**Эмаль** – это легкоплавкое стекло, обычно непрозрачное (заглушенное), часто окрашенное, которое в виде тонкого слоя наплавляют на металлические изделия.

**Назначение эмали** – защитить металл от окисления, а также от разрушения различными химически действующими жидкостями, в том числе крепкими минеральными кислотами и щелочными растворами. Эмалевые покрытия выдерживают нагрев до 200...300°C, устойчивы к свету и не изменяются во времени. Помимо защиты от коррозии, эмалевое покрытие придает изделиям красивый внешний вид. В эмалированных изделиях удачно сочетаются механическая прочность металла с химической устойчивостью стекла и его декоративными качествами – блеском, заглушенностью и окраской.

Основными металлами для эмалирования являются черные металлы – в первую очередь сталь, а затем чугун. В значительно меньших масштабах эмалируют цветные металлы – алюминий и его сплавы, а также медь, латунь и другие металлы.

Различают эмали **грунтовые** и **покровные**. Первые служат для лучшего сцепления покровной эмали с поверхностью металла, вторые придают поверхности необходимую химическую устойчивость и декоративный вид. Толщина слоя эмали на тонкостенных (0,3...1,0 мм) изделиях составляет 0,2...0,6 мм, на толстостенных (10...20 мм) изделия эмаль наносят в несколько слоев, общая толщина слоя при этом достигает 1...2 мм.

Эмали для черных металлов получают сплавлением шихты, состоящей из песка, полевого шпата, буры, соды и небольших количеств веществ, сообщающих грунтовой эмали способность прочно сцепляться с металлом (главным образом окислов кобальта и никеля).

## 4.2. Керамика

Под *керамикой* понимаются поликристаллические материалы, получаемые спеканием неметаллических порошков природного или искусственного происхождения.

*Керамические материалы* выгодно отличаются от металлических и полимерных высокой коррозионной стойкостью и возможностью регулирования свойств материала в широких пределах за счет изменения структуры, низкой плотностью.

По составу керамику можно подразделить на *кислородную*, состоящую из оксидов металлов и неметаллических элементов (бериллия, магния, алюминия, кремния, титана, циркония), и *бескислородную* – нитридную, карбидную, боридную и др.

Основные характеристики конструкционных керамических материалов представлены в табл. 24.

Таблица 24

### Свойства и области применения керамических материалов

Основа керамики	Температура плавления, °С	Плотность, 10 <sup>3</sup> кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при 20°С, МПа		Особенности применения
			При изгибе	При сжатии	
<i>Оксидная керамика</i>					
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (корундовая)	2050	3,99	150	3000	Химически стойкая, отличный диэлектрик, высокая прочность Применение – резцы для чистовой обработки, абразивные инструменты, фильтры для кабельной промышленно-

сти, детали машин, свечи зажигания ДВС

Окончание табл. 24

Основа керамики	Температура плавления, °С	Плотность, 10 <sup>3</sup> кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при 20°С, МПа		Особенности применения
			При изгибе	При сжатии	
ZnO	2700	3,60	230	2100	Высокая термостойкость (до 2200°С). Низкая стойкость к термудару Применение – огнеупорные тигли, тепловая изоляция печей и аппаратов, термическая защита металлических поверхностей
<i>Бескислородная керамика</i>					
SiC (карборунд)		3,20	250	1500	Устойчива к кислотам, неустойчива к щелочам Применение – абразивные инструменты
BN		3,45			Диэлектрик Применение – инструментальное производство, абразивные инструменты

Эти материалы представляют собой многофазные системы, в которых присутствуют *кристаллическая, аморфная и газовая фазы*. *Кристаллическая фаза*, составляющая основу конструкционной керамики, представляет собой твердые растворы или определенные химические соединения. *Аморфная фаза* находится по границам кристаллической и может составлять до 40%. *Газовая фаза* образуется при обжиге керамики и для конструкционной керамики в основном нежелательна. В зависимости от формы пор и количества газовой фазы керамику подразделяют на плотную, без открытых пор и пористую. Наличие пор обуславливает снижение прочно-

сти керамики, однако она представляет собой особый класс химически стойких материалов и используется для фильтрации агрессивных химических жидкостей и суспензий.

Существенное влияние на механическую прочность керамики оказывает температура. Например, для оксидной керамики характерна незначительная потеря прочности (до 15%) при температурах до 800°C, а затем более резкое ее падение, при температурах выше 1200°C потеря прочности составляет более 50%.

Из чистых окислов производятся термоизоляционные керамические изделия, которые могут служить при температурах в 1600...1800°C, применяющиеся для нанесения антикоррозионных и теплозащитных покрытий в реактивных двигателях.

Одним из основных недостатков керамики является ее хрупкость, так как для распространения трещины в керамическом материале расходуется энергии в тысячу раз меньше, чем в металлах. Снижения хрупкости добиваются путем армирования керамики волокнами из хрома, никеля, ниобия, вольфрама, введением в состав диоксида циркония. Применяются также методы поверхностного упрочнения керамических материалов путем лазерной аморфизации поверхности. Керамические изделия в большинстве случаев являются хорошими диэлектриками и используются в качестве высоковольтных изоляторов (главным образом фарфор и стеатит).

Большое распространение в технике получила **пьезокерамика**, способная поляризоваться при упругой деформации или деформироваться под действием внешнего электрического поля. В основном используется титанат бария  $\text{BaTiO}_3$  и керамика на основе системы  $\text{PbZrO}_3 - \text{PbTiO}_3$ . Пьезокерамические материалы нашли применение в качестве электромеханических и электроакустических преобразователей.

Керамические материалы используются также в качестве терморезисторов и варисторов, изменяющих электросопротивление под действием соответственно температуры и приложенного напряжения.

**Алюмооксидная керамика** широко используется в электронике для изготовления подложек интегральных схем, а также для подложек корпусов больших интегральных схем (чипов).

**Ферромагнитная керамика**, представляющая собой соединения типа  $\text{Me}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  или  $\text{MeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  (Me обозначает металл), характеризуется высокой магнитной проницаемостью и хорошими диэлектрическими свой-

ствами. Наибольшее распространение получили ферриты, содержащие оксиды магния, никеля, цинка, кальция, марганца.

В промышленности используется **керамика со специфическими оптическими свойствами: оптически прозрачная, с люминисцентными свойствами, светочувствительная**. Такая керамика изготавливается на основе оксида алюминия, оксида иттрия, легированного редкоземельными элементами, оксида бериллия, цирконата или титаната свинца, теллурида кадмия.

Процесс изготовления керамических изделий состоит из подготовки формовочной массы (смешивание компонентов в виде порошков в сухом виде или в жидкой среде), формирования изделия (прессование в формах под давлением 100...600 МПа), сушки и обжига (температура спекания определяется составом исходных компонентов зачастую в контролируемой газовой среде). Механическая обработка изделий из керамики заключается в их шлифовке алмазными кругами.

Керамические материалы наряду с высокой твердостью, как правило, имеют повышенную хрупкость, низкое сопротивление изгибу и ударным нагрузкам. Ликвидировать многие из этих недостатков позволяет сочетание керамических материалов с металлической связкой. Материалы, получаемые путем спекания металлических и керамических порошков, называются керметами. Керметы обладают высокими прочностными свойствами, химической стойкостью, высокой тепло- и электропроводимостью. Они нашли применение в машиностроении для изготовления режущего инструмента, электрических скользящих контактов, подшипников скольжения, в авиационной и космической технике для изготовления камер сгорания ракет и авиационных двигателей и т.д.

Металлокерамические композиционные материалы изготавливают методами порошковой металлургии из железа, ванадия, молибдена, вольфрама, кобальта, меди и других металлов, тугоплавких оксидов, а также карбидов, боридов, нитридов и силицидов металлов.

Для режущего инструмента применяются **твердые сплавы на основе высокотвердых тугоплавких карбидов** ванадия, титана, тантала на кобальтовой связке. Формовочную смесь спекают при температуре 1400...1550°C в среде водорода или в вакууме.

**Вольфрамкобальтовые сплавы состоят** из карбидов вольфрама и кобальтовой связки. Теплостойкость этих сплавов – до 800°C. Обознача-

ются они буквами ВК, за которыми следует цифра, указывающая количество кобальта в массовых процентах, например ВК3, ВК8, ВК10.

**Титановольфрамовые сплавы** состоят из карбидов титана и вольфрама с кобальтовой связкой.

Теплостойкость сплавов этой группы составляет 900...1000°C. Обозначаются сплавы буквами ТК. Например, сплав Т15К6 содержит 15% TiC, 6% кобальта и 79% WC. **Титано-кобальтовые сплавы** применяют для обработки резанием сталей.

**Титано-тантало-вольфрамо-кобальтовые сплавы** применяют для обработки труднообрабатываемых сплавов. Обозначаются эти сплавы буквами ТТК, например ТТ10К8 (10% карбидов титана и тантала, 8% - кобальта). Теплостойкость этих сплавов составляет 1000°C.

Для изготовления режущего инструмента применяется также **безвольфрамовая минералокерамика** на основе глинозема  $Al_2O_3$  (оксидная), например ЦМ-332 (микролит), ВО-13; смеси  $Al_2O_3$  с карбидами (ВЗ, ВОК-60, СС620, СМ2), нитридами (кортинит, СС680, СС650) и другими соединениями (керметы), а также безвольфрамовые твердые сплавы на основе карбида титана (ТН20), карбонитрида титана (КНТ16, СД-3), нитрида титано-тантала (Т12А, Т23А).

Оксидную керамику применяют для чистовой и получистовой обработки незакаленных сталей и серых чугунов со скоростями резания до 15 м/с.

Резцы из пластинок микролита применяют при обработке конструкционных и легированных сталей, различных чугунов и особенно цветных металлов, а также графита, твердых пород дерева, пластмасс и др. Из микролита, кроме режущего инструмента, изготавливают детали к машинам и аппаратам, подвергающимся интенсивному износу, различные фильеры, втулки, мундштуки и др.

Кроме компактной (беспористой), применяется и **пористая металл-керамика**, получаемая путем введения в исходную композицию дисперсных или волокнистых компонентов, которые из готовых изделий выплавляются или вымываются, образуя открытые поры. Таким образом, получают материалы с открытыми порами. Их применяют для изготовления фильтров очистки жидкостей и газов, подшипников скольжения, подшипников на воздушной подушке. В подшипниках скольжения поры заполняются смазочными веществами и выполняют функции емкостей для удержания смазки и подачи ее в нужный момент в зону трения.

Материалы с закрытыми порами получают путем введения в исходную композицию газообразующих веществ – **порофоров**.

В ряде областей машиностроения находят применение **теплоизоляционные керамические материалы** (пористые окисные огнеупоры, изготовленные по разной технологии из чистых окислов или карбидов). Пористость такой керамики достигает 85...90%, а предельная рабочая температура – 2200°C.

Химически стойкая керамика отличается незначительной прочностью, удовлетворительной термостойкостью и незначительной проницаемостью для жидкостей и газов. В зависимости от назначения она подразделяется на футеровочную (для защиты различных аппаратов и строительных конструкций), насадочную и изделия для химической аппаратуры.

Футеровочные и насадочные изделия изготавливаются из шамотированных масс и обладают грубозернистым строением (кислотоупорные кирпичи и плитка). Кислотоупорные кирпичи применяют для футеровки крупных химических аппаратов (башен, скрубберов и др.), резервуаров, газоходов, желобов, а также для кладки фундаментов аппаратов, колонок и т.п.

Кислотоупорные плитки изготавливают трех видов: кислотоупорные, термокислотоупорные и термокислотоупорные для гидролизной промышленности.

### 4.3. Углеродистые материалы

**Графит** представляет собой полиморфную модификацию углерода с плотностью 2,22...2,26 г/см<sup>3</sup> и пределом прочности 16...30 МПа.

Прочность и модуль упругости графита растут с увеличением температуры до 2200°C, а при температуре 3700°C он возгоняется, минуя жидкую фазу. Графит имеет высокую стойкость к кислотам и органическим растворителям, высокие антифрикционные свойства, тепло- и электропроводность, хорошо обрабатывается резанием. Благодаря значительной теплостойкости материалы на основе графита нашли широкое применение для изготовления плавильных тиглей, литейных форм, деталей ракет и ядерных реакторов. Антифрикционные свойства графитовых материалов позволяют использовать их в качестве подшипников скольжения и твердых смазок. Электротехнические графитовые материалы используются для изготовления контактных щеток, нагревательных элементов, резисто-



ров для радиотехнической промышленности. В производстве графитовых материалов применяются как природный, так и полученный искусственно (пирографит) путем высокотемпературной термической обработки нефтяного и каменного коксов, а также методом осаждения из газообразных углеводородов. Пирографит имеет более высокую степень чистоты, стабильность свойств.

В производстве композиционных материалов в качестве армирующих элементов используют углеродные волокна, получаемые из органических волокон путем специальной термической обработки.

Подшипники скольжения на основе углеграфитных материалов способны работать без смазки в диапазоне температур от  $-200$  до  $+2000^{\circ}\text{C}$ , со скоростями скольжения до  $100$  м/с, в том числе и в агрессивных средах, кроме работы в среде осушенных газов и в вакууме. Для изготовления поршневых колец компрессоров, уплотнителей колец, подшипниковых вкладышей центробежных и гидронасосов применяют углеродные обожженные (АО-600, АО-1500) и графитизированные (АГ-1500) материалы, а также эти материалы с пропиткой баббитом (АО-600-Б83), свинцово-оловянистым сплавом (АО-600-СО5, АГ-1500-Б83) и др. При этом увеличивается прочность в  $1,5...2$  раза, но снижается температура эксплуатации.

На основе фторопласта-4 и углеродных наполнителей производят графитопластовые материалы марок 7В-2А, АФГМ, АФГ-80ВС, а при использовании оксидно-кремнийорганического связующего – АМС-1, АМС-3, АМС-5.

Для изготовления деталей сухого трения, работающих в агрессивных средах, при высоких нагрузках и скоростях скольжения используют графитизированные материалы с пропиткой полимерными связующими (НИГРАН, НИГРАН-В).

Свойства некоторых углеграфитовых материалов приведены в табл. 25.

В углерод-углеродных композитах материалы матрицы и упрочняющих волокон имеют одну природу и физико-механические свойства, благодаря чему такие композиционные материалы имеют высокую термостойкость, термостабильность геометрических размеров, минимальные напряжения на границе раздела волокно-матрица при термических воздействиях.

В зависимости от назначения деталей армирующие углеродные волокна могут располагаться хаотично (волокна измельчают до размеров 0,5...1,00 мм), могут быть ориентированы в двух направлениях (слоистые, получают укладкой углеродных тканей друг на друга) и с пространственным объемным ориентированием (получают объемным плетением углеродных волокнистых жгутов или лент).

Перед насыщением углеродом полученные заготовки отверждают и подвергают термообработке при температуре 800...1000°C. Углеродную матрицу получают двумя способами: путем карбонизации полимерной матрицы в процессе ее высокотемпературной обработки в инертной среде или путем осаждения из газовой фазы пироуглерода, образующегося при термической деструкции углеводородов в порах углеволокнистого армирующего каркаса (возможно использование обоих методов одновременно). В качестве пропиточных составов для образования полимерной матрицы используют фенолоформальдегидные, эпоксифенольные, кремний-органические, полибезимидозольные и другие терморезистивные полимерные смолы. Для снижения пористости и повышения плотности пропитку и карбонизацию повторяют.

Высокие механические свойства углерод-углеродные композиты (табл. 26) сохраняют лишь при отсутствии окислительных сред. На воздухе уже при температуре 400°C наблюдается окисление углерода и потеря прочности. Замедляют процесс окисления путем пропитки композитов фосфатами и боратами, нанесением защитных силицидных и карбидных покрытий.

Таблица 26

Механические свойства углерод-углеродных композитов

Наполнитель	Матрица	Плотность при 20°C, г/см <sup>3</sup>	Предел прочности при изги-	Модуль упругости при изги-
-------------	---------	---------------------------------------	----------------------------	----------------------------

			бе, МПа	бе, ГПа
Углеродная ткань из низкомодульного волокна	Эпоксидная карбонизированная	1,38	115	14
	Фенольная карбонизированная	1,43	135	15
	Полибензимидазольная карбонизированная	1,34	30	15
Высокомодульное углеродное волокно	Фенольная карбонизированная	1,55	152	175
	Фенольная графитизированная	1,64	600	189
	Пироуглеродная	1,60	760	140
Углеродный войлок	Пироуглеродная	1,60	60	14...21

Углерод-углеродные композиционные материалы применяют для изготовления деталей, работающих при высокой температуре в присутствии агрессивных сред: внешней теплозащиты возвращаемых космических аппаратов, внутренней теплозащиты элементов ракетных двигателей, насадок плазменных установок, уплотнений химической и теплообменной аппаратуры и др.

#### 4.4. Минеральные вяжущие вещества и изделия на их основе

*Минеральные вяжущие вещества* в зависимости от состава, основных свойств и областей применения делятся на две группы: *воздушные* (гипсовые, магнезиальные, строительная воздушная известь, растворимое стекло) и *гидравлические* (портландцемент и его разновидности, глиноземистый цемент, шлаковые цементы и др.).

Изделия на основе гипсовых вяжущих делятся на **гипсовые** (смесь гипса и воды) и **гипсобетонные** (смесь гипса, воды и заполнителей). В качестве заполнителей применяются котельный и доменный шлаки, кварцевый песок, древесная мука и опилки. Гипсовые изделия характеризуются сравнительно небольшим объемным весом и несгораемостью, однако обладают значительной пластической деформацией под нагрузкой (ползучесть), а при увлажнении резко снижается их прочность. Гипсовые изделия могут быть сплошные, пустотелые и пористые, армированные и неармированные. Для армирования гипсовых изделий применяют картон, камыш, древесную фибру и различные волокнистые материалы. Из гипсовых строительных изделий наиболее широкое распространение получили сухая штукатурка, гипсовые и гипсобетонные плиты, стеновые камни, вентиляционные короба, архитектурно-декоративные изделия и др.

К **магнезильным вяжущим веществам** относят каустический магнезит и каустический доломит. Их получают обжигом магнезиальных материалов.

Магнезиальные вяжущие вещества хорошо связывают твердые частицы, поэтому их применяют преимущественно вместе с органическими наполнителями: опилками, древесной шерстью, кострой и др. На основе магнезиальных вяжущих веществ выпускают фибролит (термоизоляционный, конструктивный и фибролитовая фанера), ксилолит (для изготовления бесшовных полов), пено- и газомагнезит (для получения газосиликатов), совелит и ньувель (теплоизоляционные материалы).

**Строительная воздушная известь** является продуктом, получаемым обжигом до возможно более полного выделения углекислоты из кальцево-магнезиальных карбонатных пород, содержащих не более 6% глинистых примесей. Основные виды извести, и их применение приведены в табл. 27.

Таблица 27

#### Применение строительной воздушной извести

Известь	Основные области применения	Основное свойство извести
Негашеная молотая магнезиальная	Приготовление строительных и штукатурных растворов, бетонов низких марок, автоклавных строитель-	Гидратационное твердение, высокая прочность, вяжущие свойства

	ных материалов (кирпича, панелей и т.п.), гидравлических вяжущих – известково-шлаковых Известково-пуццолановых, известково-глиняных и др.; гипсоизвестковых вяжущих; известковых красочных растворов, шлакобетона	
Гидратная (гашеная) магнезиальная	То же	Вяжущие свойства
Молотая негашеная и гашеная магнезиальная	Приготовление строительных растворов и штукатурок, предназначенных для службы в воздушно-сухих условиях, для производства легкобетонных камней	То же
Гидратная (гашеная) доломитовая	Для тех же целей, что и магнезиальная, а также для изготовления теплоизоляционных материалов при затворении растворами хлористого и сернокислого магнезия	Твердение по типу магнезиальных вяжущих

Окончание табл. 27

Известь	Основные области применения	Основное свойство извести
Карбонатная	Приготовление строительных растворов и штукатурок, смешанных цементов, красочных растворов	То же
Гидравлическая известь	Приготовление строительных растворов и штукатурок, бетонов низких марок	Относительно более высокая водостойкость, чем воздушной извести

К **вяжущим веществам автоклавного твердения** относятся известково-песчаные, вяжущие на основе нефелинового шлама, доменных гранулированных и отвальных шлаков и ряд других.

Для приготовления известково-песчаного вяжущего используют магнезиальную молотую негашеную, характеризующуюся средней скоростью гидратации, или гидратную известь. Песок применяют немолотым, грубомолотым и в виде смеси немолотого и тонкомолотого. Вместо песка можно использовать доменные гранулированные и отвальные шлаки, мартеновские и ваграночные шлаки, золу.

**Нефелиновое вяжущее** состоит из 75...80% нефелинового шлама, 10...15% извести и 5% гипса.

**Автоклавные строительные материалы** могут быть плотными и ячеистыми, армированными и неармированными. Из них изготавливают кирпичи, блоки, панели, колонны, лестничные марши и др. Ячеистые силикатные материалы используются в качестве теплоизоляционных и легко обрабатываются режущими инструментами.

На основе растворимого стекла производятся кислупорный кварцевый кремнефтористый цемент (применяется для изготовления башен, резервуаров, ванн и других химических аппаратов, для химической защиты аппаратуры от воздействия минеральных и органических кислот, кислотостойких замазок, красок, кислупорных растворов и бетонов) и кислупорный цемент без  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  (применяется для связки кислупорных кирпичей и кислотоупорных замазок). На основе этих цементов готовят кислупорный бетон (1 вес. ч. гранита, кварца и пр.; 1 вес. ч. песка; 1...2 вес. ч. щебня; 0,4 вес. ч. цемента), жаростойкий бетон (1 вес. ч. тонкомолотого шамота; 1 вес. ч. песка; 0,1 вес. ч. щебня; 0,1 вес. ч. цемента рабочих температур до  $1400^\circ\text{C}$ ), а также кислупорные замазки.

**Портландцементом** называется гидравлическое вяжущее вещество, твердеющее в воде и на воздухе, получаемое путем совместного тонкого измельчения клинкера и необходимого количества гипса. Портландцемент выпускается следующих марок: 250, 300, 400, 450 и 500, предел прочности при изгибе которых должен быть соответственно не менее 4,0; 5,0; 6,0; 6,5 и 7,0 МПа (табл. 28). Для замедления схватывания портландцемента используют гипс, сульфитно-спиртовую барду, борную кислоту, соли ортофосфорной кислоты, а для ускорения –  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , триэтанолламин, глиноземистый цемент, растворимое стекло и ряд других веществ. Для получения из портландцемента теста нормальной густоты тре-

буется 21...27% воды. Водопотребность можно уменьшить введением пластифицирующих добавок – поверхностно-активных веществ (триэтанолламин, сульфитно-спиртовая барда и др.).

Основные свойства портландцемента и его применение представлены в табл. 28, 29.

Таблица 28

**Строительно-технические свойства цементов**

Цемент	Объемный вес, $\text{м}^3/\text{м}^3$		Срок схватывания, ч		Марочная прочность, МПа
	В рыхлом состоянии	В уплотненном состоянии	Начало	Конец	
Портландцемент (ПЦ)	0,9...1,3	1,4...2,0	0...45	12	30, 40, 50, 60, 70

Окончание табл. 28

Цемент	Объемный вес, $\text{м}^3/\text{м}^3$		Срок схватывания, ч		Марочная прочность, МПа
	В рыхлом состоянии	В уплотненном состоянии	Начало	Конец	
Быстротвердеющий ПЦ	0,8...1,3	1,3...2,0	0...45	12	50, 60
Сульфатостойкий ПЦ	0,9...1,3	1,4...2,0	–	–	40, 50, 60
Для асбестоцементных изделий	0,9...1,3	1,4...2,0	1...30	–	50, 60
Пластифицированный ПЦ	0,9...1,3	1,4...2,0	0...45	12	30, 40, 50, 60
Гидрофобный ПЦ	0,9...1,3	1,4...2,0	0...45	12	30, 40, 50, 60
Белый ПЦ	0,9...1,3	1,4...2,0	0...30	12	25, 30, 40
Магнезиальный ПЦ	0,9...1,3	1,4...2,0	0...45	12	30, 40, 50
Тампонажный	0,9...1,3	1,4...2,0	2...45,	2...45,	50, 60

ПЦ			7...30	7...30	
Дорожный ПЦ	0,9...1,3	1,4...2,0	0...45	12	50
ПЦ					
с умеренной экзотермией	0,9...1,3	1,4...2,0	0...45	12	40, 50
Пуццолановый ПЦ	0,8...1,0	1,2...1,6	0...45	12	30, 40, 50, 60
Шлакопортландцемент	0,9...1,2	1,4...1,8	0...45	12	30, 40, 50, 60
Известково-шлаковый	0,8...0,9	1,2...1,4	1...30	4	5, 10, 15
Гипсо-шлаковый	0,8...1,0	1,2...1,5	0...50	12	15, 20, 25, 30
Глиноземистый	1,0...1,3	1,6...1,8	0...50	12	40, 50, 60
Водонепроницаемый расширяющийся	0,9...1,2	1,4...1,8	–	–	–

На основе портландцемента приготавливают: тяжелые и особо тяжелые бетоны; легкие и особенно легкие бетоны; железобетоны; жароупорные бетоны; полимерцементные и стеклоцементные бетоны.

## **Глава 5. ДРЕВЕСНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

### **5.1. Натуральные древесные материалы**

Древесина имеет капиллярно-пористое строение. Стенки капилляров состоят на 90...95% из высокомолекулярных (целлюлоза, лингин, гемицеллюлоза) соединений и на 5...10% из низкомолекулярных соединений (углеводороды, эфирные масла, смолы) и минеральных веществ. Капилляры имеют сечение от 0,05 до 0,4 мм и выполняют роль проводящих систем. Физико-механические свойства древесины зависят от ее макро- и микроструктуры, влажности, направления приложения нагрузки, возраста и пороков отдельных участков (механические повреждения, грибковые поражения, червоточины, отклонения строения из-за наличия сучков и др.).

Древесина содержит свободную воду, заполняющую капилляры, и связанную, входящую в клеточные оболочки. При высыхании сначала теряется свободная вода, а затем связанная. У свежесрубленного дерева общая влажность может достигать 100% (70% приходится на свободную воду). Равновесная влажность сухой древесины составляет 7...10% в закрытом помещении и 10...20% на воздухе. При потере связанной воды происходит усушка древесины, сокращение размеров капилляров, что приводит к возникновению внутренних напряжений и, как следствие, к короблению древесины и образованию трещин. Скорость и условия сушки также влияют на появление коробления и трещин.

Для повышения стойкости древесины к гниению, снижения горючести и влагопоглощения применяют ее пропитку разными составами (антисептиками, синтетическими смолами, антипиренами), а также окраску огне- и влагозащитными красками, перхлорвиниловыми покрытиями и др. В качестве антисептиков используют фторид- и кремнефторид натрия, хлористый цинк, креозотовое масло и др.

В качестве антипиренов используют составы, содержащие соли аммония, фосфорной или борной кислоты.

Натуральную древесину подразделяют на хвойные и лиственные породы. Основные показатели механических свойств древесины представлены в таблице 30.

В народном хозяйстве натуральная древесина применяется в виде пиломатериалов и заготовок.

По характеру обработки различают пиломатериалы: обрезные – четыре боковые стороны пропилены, а обзол (не пропиленная боковая поверхность бревна) не превышает нормы; необрезные – пласти пропилены, а кромки не пропилены или пропилены частично, и размеры обзолов превышают норму; ширина необрезных материалов равна полусумме ширины двух пластей посередине длины с точностью 0,5 см.

По соотношению размеров поперечного сечения различают: доски – ширина более двойной толщины, бруски – ширина не более двойной толщины, брусья – ширина и толщина более 100 мм (табл. 31)

По толщине пиломатериалы бывают тонкие (до 32 мм) и толстые (40 мм и более).

Поперечные размеры пиломатериалов установлены для древесины с влажностью 15%, при большей влажности предусматривают припуск на усушку.

Пиломатериалы хвойных пород. В зависимости от допускаемых пороков древесины доски и бруски получают пяти сортов: отборного и 1-5-го, а брусья четырех сортов: 1-4-го.

Таблица 31

**Размеры пиломатериалов хвойных пород  
Длина 1 - 6,5 м (через 0,25 м)**

Пилома- териал	Тол- щина, мм	Ширина, мм									
		80	90	100	110	130	150	180	200	220	250
Доски	13	80	90	100	110	130	150	–	–	–	–
	16	80	90	100	110	130	150	180	–	–	–
	19	80	90	100	110	130	150	180	200	–	–
	22	80	90	100	110	130	150	180	200	–	–
	25	80	90	100	110	130	150	180	200	220	250
	32	–	–	100	110	130	150	180	200	220	250
	40	–	–	100	110	130	150	180	200	220	250
Бруски	50	–	–	100	–	130	150	180	200	220	250
	60	–	–	100	–	130	150	180	200	220	250
	75	–	–	100	–	130	150	180	200	220	250
	100	–	–	100	–	130	150	180	200	220	250
Брусья	130	–	–	–	–	130	150	180	–	–	–
	150	–	–	–	–	–	150	180	200	–	–
	180	–	–	–	–	–	–	180	–	220	–
	200	–	–	–	–	–	–	–	200	–	250
	220	–	–	–	–	–	–	–	–	220	250
	250	–	–	–	–	–	–	–	–	–	250

Примерное назначение хвойных пиломатериалов следующее:

- сорт отборный – детали обшивки и связей судов, дышла, мотовильные планки сельскохозяйственных машин, решетки бортов грузовых автомобилей и т.п. нагруженные детали;

- сорт 1-й – внутренние палубы судов, детали семенных ящиков сеялок, делители жаток, поперечные балки кузовов автомобилей и другие ответственные детали;

- сорт 2-й – брусья спиц и укосин сельскохозяйственных машин, верхние доски бортов и крайние доски пола грузовых автомобилей, тонкая обшивка стен и доски пола в просвете дверей грузовых, железнодорожных вагонов и другие массивные детали изделий;

- сорт 3-й – доски бортов и пола грузовых автомобилей, доски пола и толстая обшивка стен, обшивка крыши грузовых железнодорожных вагонов и другие менее нагруженные детали, раскрой на мелкие заготовки;

- сорт 4-й – раскрой на мелкие заготовки и тару.

Пиломатериалы лиственных пород должны иметь влажность не более 25%.

Пиломатериалы изготавливают трех сортов.

Размеры (для древесины с влажностью 15%): длина 1 – 6,5 м (через 0,25 м); толщина 13...25 мм (через 3 мм); 32, 40, 50, 60 и 75 мм; ширина (необрезные) 50 мм и более (через 10 мм). При большей влажности предусматривают припуски на усушку для ширины и толщины.

Бруски изготавливают квадратного и прямоугольного сечения.

Лиственные породы используют для изделий, изготовление которых связано с деформированием (гибкой) материала.

## 5.2. Композиционные древесные материалы

На основе древесных полуфабрикатов (древесная мука, стружка, опилки, щепа технологическая) изготавливают композиционные материалы.

Массы древесные прессовочные, состоящие из мелких частиц древесины, пропитанной различными смолами, используют для изготовления деталей машин (втулок, шкивов, роликов), а также строительных изделий методом горячего прессования. Переработка этих масс производится при температуре 150°C, давлении прессования 400...600 МПа. Выпускаются массы древесные прессовочные, содержащие частицы длиной до 80 мм (МДПК), стружку (МДПС), опилки (МДПО), частицы игловидной формы (МДПВ) (табл. 32).

Таблица 32

### Механические свойства древесных прессовочных масс

Свойство	МДПК	МДПС	МДПО	МДПВ
Плотность, 10 <sup>3</sup> кг/м <sup>3</sup>	1,27	1,27...1,38	1,30...1,39	1,30...1,40
Предел прочности, МПа:				
при сжатии	80...100	90	110	100
при изгибе	70...120	55	50	50
Ударная вязкость,				

кДж/м<sup>2</sup> | 8...15 | 5 | 4 | 4

Древесина прессованная (ДПО, ДПД, ДПК, ДПР, ДПГ) в виде заготовок, обработанных по различным технологиям (с пропаркой, нагревом, пропиткой аммиаком) из различных пород древесины, используется для изготовления деталей, испытывающих ударные нагрузки: подшипников, прокладок, ползунов лесопильных рам и других деталей машин, а также мебели, паркета и т.д. Плотность этих материалов 700...1300 кг/м<sup>3</sup>, временное сопротивление (вдоль волокна) 140...230 МПа, ударная вязкость 60...80 кДж/м<sup>2</sup>.

Шпон лущеный используется для изготовления фанеры в качестве материала для отделки изделий из древесных прессовочных масс и древопластиков. Шпон строганый применяют в качестве отделочного материала.

Фанера представляет собой многослойный материал, полученный путем склеивания листов шпона с различными схемами его ориентации в слоях. Он широко используется в мебельной промышленности, судостроении, вагоно- и автомобилестроении, радиотехнической промышленности и др. Выпускаются различные разновидности фанеры: с пропиткой наружных слоев смолами, металлизированная, покрытая смесью асбеста с цементом, декоративная и др.

Древопластики представляют собой композиционные материалы на основе полимеров, в которых наполнителями являются измельченная древесина, опилки, стружки, лом шпона, щепа.

Древесностружечные плиты изготавливают методом горячего прессования, толщиной от 10 до 25 мм, облицованные шпоном, декоративным пластиком и без облицовки. Используются они в мебельной промышленности, радио- и приборостроении, строительстве, машиностроении, для элементов несущих конструкций в строительстве, автомобиле- и вагоностроении.

Древесноволокнистые плиты используются в изделиях, защищенных от воздействия влаги, и выпускаются толщиной от 2,5 до 25 мм, шириной от 1220 до 1830 мм, длиной от 1200 до 5500 мм. По плотности они подразделяются на мягкие (М), полутвердые (ПТ), твердые (Т), сверхтвердые (СТ). При обозначении марки после указания твердости через дефис указывается значение предела прочности при изгибе, например СТ-500 ( $\sigma_{изг} = 50$  МПа).

Высокой прочностью, износостойкостью и невысоким коэффициентом трения обладают древесно-слоистые пластики (ДСП), представляющие собой многослойные, горячепрессованные, пропитанные синтетическими смолами листы шпона с различной ориентацией волокон в слоях.

В качестве конструкционных и антифрикционных материалов в основном применяются древесно-слоистые пластики. Основные свойства их приведены в табл. 33.

Таблица 33

Механические свойства древесно-слоистых пластиков

Показатели	ДСП-А	ДСП-Б	ДСП-В	ДСП-Г
Плотность, 10 <sup>3</sup> кг/м <sup>3</sup>	1,33	1,23...1,30	1,23...1,30	1,23...1,30
Временное сопротивление, МПа	–	200...300	130...140	–
Пределы прочности вдоль волокон, МПа:				
при сжатии	180	130...185	100...125	–
при изгибе	–	205...280	140...180	100...125
Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	–	60...80	25...30	17...30

Армированные композиционные древопластики (ДПКА1 и ДПКА2), кроме пропитанных древесных компонентов, содержат стекло- и углеродное волокно, а также дисперсные наполнители. Плотность их составляет 1400...1550 кг/м<sup>3</sup>, временное сопротивление 60...70 МПа, пределы прочности при сжатии 150...200 МПа, при изгибе 110...120 МПа, ударная вязкость 17...32 кДж/м<sup>2</sup>. Используются они для изготовления опор скольжения, корпусных деталей.

## Глава 6. КЛЕЯЩИЕ, ЛАКОКРАСОЧНЫЕ И ТРАВЯЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

### 6.1. Клеящие материалы

*Клеи* представляют собой растворы, способные при затвердевании образовывать прочные соединения, обладающие хорошей адгезией, когезивной прочностью, достаточной эластичностью и долговечностью.



Клеи применяются для получения неразъемных соединений как однородных, так и различных по природе материалов. Они обеспечивают соединениям герметичность, атмосферостойкость и стойкость к коррозии, позволяют соединять тонкостенные изделия. Клеевые соединения весьма технологичны и отличаются низкой себестоимостью. Однако необходимо отметить склонность клеевой прослойки к старению под воздействием внешних факторов, невысокую прочность клеевого соединения при неравномерном отрыве и для большинства клеев – невысокую длительную теплостойкость.

Прочность клеевого соединения определяется химической природой и структурой клеящего вещества (адгезива) и субстрата, состоянием склеиваемых поверхностей, условиями его формирования и рядом других факторов.

Различают адгезионное и когезионное разрушение клеевого соединения. Под *адгезией* понимается способность клеевой прослойки прилипнуть и прочно удерживаться на поверхности склеиваемого материала, под *когезией* – собственная объемная прочность клеевого слоя.

Существуют следующие правила, обеспечивающие высокую прочность клеевого шва:

- 1) применять клей, хорошо смачивающий склеиваемые поверхности;
- 2) поверхности полярных материалов склеивать полярными клеями, неполярных – неполярными. Если возможно, неполярным поверхностям придавать полярность с помощью химической обработки поверхности (например, для полиэтилена и полистирола путем обработки серной кислотой или галоидами);
- 3) при затвердевании клеевой прослойки необходимо исключать возникновение внутренних напряжений, достаточных для ее разрушения (наносить по возможности более тонкий клеевой слой);
- 4) клеевая прослойка не должна быть жестче склеиваемого материала. В противном случае внешняя нагрузка может разрушить соединения из-за неравномерной концентрации напряжений в клеевом шве.

В состав клеев входят следующие компоненты: пленкообразующее вещество, которое определяет адгезионные, когезионные и основные механические свойства клеевого соединения; растворители; пластификаторы; отвердители и катализаторы; наполнители. В качестве пленкообразующих материалов наибольшее применение получили синтетические полимеры и каучуки.

В зависимости от пленкообразующего материала клеи подразделяются на смоляные, резиновые и неорганические.

**Смоляные клеи** бывают терморезактивными и термопластичными. Терморезактивные обладают высокими прочностными свойствами и теплостойкостью, обычно являются основой конструктивных клеев. Термопластичные клеи используют, как правило, для склеивания неметаллических материалов и приклеивания их к металлам в изделиях несилового назначения. Основные типы клеев и области их применения приведены в табл. 34.

Таблица 34

**Характеристики и области применения некоторых конструктивных клеев**

Тип клея	Марка клея	Предел прочности при сдвиге, МПа	Термостойкость, °С	Склеиваемые материалы
Фенолоформальдегидный	ВЗ1-Ф9	13...15	45...100	Оргстекло между собой и с тканями, пористые материалы
Фенолокаучуковый	ВКЗ, ВК-13М, ВК-32-200, ВК-13	14...25	200 200 300	Металлы, стеклопластики
Фенолополивинилацетатный	БФ-2, БФ-4 ВС-1ат ВС-350 БФР-2	17...19	80 200 300 кр. 350	Металлы, стеклопластики, деревопластики и др. материалы
Фенолокремнийорганический	ВК-8 ВК-15 ВК-18 ВК-18М ВК-20	12...17	100 1200 кр. 200 900 кр. 700	Стали, титан, графит и др. металлы и неметаллические материалы
Эпоксидный	К-153, Л-4	10...30	60	Металлы, стеклопластики, неметаллические материалы

ВК-32-ЭМ	60	Стальные, алюминиевые и титановые сплавы, стеклопластики, полимеры
ВК-1	150	Металлы и стеклопластики
Эпоксид П и ПР	100	Металлы и неметаллические материалы

Окончание табл. 34

Тип клея	Марка клея	Предел прочности при сдвиге, МПа	Термостойкость, °С	Склеиваемые материалы
	ВК-9		125	Стали, алюминиевые сплавы, неметаллические материалы
	ЭПЦ-1		150	Асбоцемент, стали, неметаллические материалы
Эпоксидно-полиуретановый	ВК-16	10...15	250	Металлы, стеклопластики, неметаллические материалы
Эпоксидно-кремнийорганический	ТКМ-75	18...20	300 350	Металлы и стеклопластики
Полиуретановый	ПУ-2 ВК-11	11...20	60	Металлы, неметаллические материалы; декоративно-отделочные ткани, поролон с деревом и алюминиевыми сплавами
Кремнийорганический	ВКТ-2 ВКТ-3	10...17	200 300...400	Стекловолоконистые материалы со сталями
Полиэфирный	ТМ-60	–	100	Полиэтиленовые пленки

Перхлорвиниловый	ХВК-2а	–	60	Х/б ткани с древесиной
Полиамидный	СП-6	15...30	300...375	Коррозионно-стойкие стали, титановые сплавы, композиты
Полибензимидазольный	ПБИ-1К		350...540	Коррозионно-стойкие стали, титановые сплавы, композиты

**Резиновые клеи**, основу которых составляют каучуки, отличаются высокой эластичностью и применяются для склеивания резины или приклеивания резины к металлам. Они представляют собой растворы каучуков или резиновых смесей в органических растворителях. Для крепления невулканизированных резин к металлам применяют клеи на основе бутадиен-акрило-нитрильных каучуков КР-5-18, ВКР-15, склеивание которыми происходит в процессе вулканизации резины, обеспечивая высокую прочность соединения. Допускаемая температура эксплуатации таких соединений на клее КР-5-18 составляет 120°С, а на ВКР-15 – до 200°С.

Склеивание вулканизированных нитрильных резин с температурой эксплуатации до 200°С производят клеями холодного отверждения – ВКР-7 и БКР-17. Последний клей стоек к воздействию масел и топлив. При температурах эксплуатации не выше 70°С крепление резин к металлам, стеклу и другим материалам может производиться клеями холодного отверждения – 88Н и 88НП. Однако эти соединения не стойки к топливам и минеральным маслам. Клей 88НП стоек к морской воде.

Теплостойкие невулканизированные резины на основе фторкаучуков и силиконовые резины склеивают между собой или приклеивают к металлам клеями 9М-358 и МАС-Ю. Склеивание происходит непосредственно в процессе вулканизации приклеиваемых резин. Такие клеевые соединения работоспособны до температур соответственно 200 и 350°С.

Клеи бывают *однокомпонентными*, поступающими к потребителю в готовом виде, и *многокомпонентными*, приготавливаемыми перед применением из поставляемых ингредиентов в соответствующих количествах с учетом срока жизнеспособности клея.

По физическому состоянию клеи бывают жидкие, пастообразные, твердые и пленочные.

Ленты со слоем липкого клея сохраняют длительное время липкость, не высыхая, и будучи нанесены на соответствующую поверхность, прилипают к различным материалам при легком нажатии рукой. Липкие клеящие слои обычно состоят из эластомера, обеспечивающего когезию клеевой пленки, веществ, придающих необходимую клейкость, и различных добавок (пластификаторов, наполнителей, антиоксидантов и т.д.). Наиболее часто применяют полиизобутилен, этилцеллюлозу и синтетические каучуки. Основой липких лент являются полиэтилен, целлофан, бумага, ткань, пластикат (табл. 35).

Таблица 35

Липкие ленты

Липкая лента	Основа		Назначение
	клея	ленты	
Полиэтиленовая	Полиизобутилен	Полиэтилен	Общетехническое
Целлофановая	Натуральный каучук, полиизобутилен и др.	Целлофан	При окраске изделий, технологической герметизации щелей и т.д.
Бумажная		Бумага	Технологическое и маркировочное
Тканевая	Натуральный каучук, полиизобутилен и др.	Бязь или миткаль	Технологическое
ПХВ изоляционная	Перхлорвиниловая смола, канифоль и др.	Пластикат	Для ремонта и сращивания кабельных оболочек
ПХВ для изоляции газо-нефте-продуктов		Морозостойкий пластикат	Обмотка трубопроводов для защиты от блуждающих токов

## 6.2. Состав и обозначение лакокрасочных материалов

Лакокрасочные материалы представляют собой композиции, состоящие из пленкообразующего вещества, растворителей, наполнителей, пиг-

ментов и других компонентов, которые после нанесения и сушки образуют на поверхности изделия твердое покрытие.

Основные функции лакокрасочных покрытий: защита металлических поверхностей от коррозии, а некоторых неметаллических материалов (древесины, пластмасс и др.) от увлажнения и гниения, придание им декоративного вида и специальных свойств (электроизоляционных, светоотражательных, теплоизлучательных и др.).

По составу лакокрасочные материалы подразделяются на лаки, эмали, грунты и шпатлевки.

**Лаками** называются растворы природных или синтетических пленкообразующих веществ в органических растворителях. Кроме пленкообразующего вещества, они могут содержать пластификаторы, стабилизаторы и другие функциональные добавки. После нанесения тонкого слоя на поверхность и высыхания лаки образуют прозрачные покрытия.

**Эмали** представляют собой суспензии пленкообразующего вещества с пигментами, наполнителями и функциональными добавками. После нанесения на поверхность и высыхания эмали образуют непрозрачные покрытия.

**Грунты** являются основой, которую наносят на окрашиваемую поверхность с целью защиты ее от коррозии, создания хорошей сцепляемости с подложкой и последующими слоями лакокрасочного покрытия. Грунт содержит пленкообразующее вещество и 70...80% пигментов, которые определяют его антикоррозионные свойства. Различают грунты:

1) *пассивирующие*, обладающие свойствами поддерживать поверхность металла под слоем грунта в пассивном состоянии за счет образования прочных оксидных пленок, для чего в его состав вводят в качестве наполнителей хроматы цинка, калия, бария и других элементов;

2) *протекторные*, осуществляющие катодную защиту металла за счет металлических пигментов с меньшим химическим потенциалом по отношению к потенциалу защищаемого материала (цинковая пыль для стали);

3) *изолирующие*, с инертными наполнителями, защищающими поверхность металла за счет плотной пленки, обладающей малой влагонепроницаемостью (битумные грунты, сурик, цинковые белила);

4) *фосфатирующие*, создающие на поверхности металла фосфатную пленку, которая улучшает адгезию и противокоррозионные свойства покрытия.

**Шпатлевки** представляют собой композиции пастообразной консистенции, состоящие из пленкообразующего вещества, наполнителей и пигментов, причем последние составляют до 200% по отношению к массе пленкообразующего. Шпатлевки применяются для выравнивания окрашиваемых поверхностей и исправления мелких дефектов. Толщина наносимого слоя в большинстве случаев не должна превышать 0,4 мм. Для шпатлевок на основе полиуретановых и эпоксидных смол толщина слоя может быть до 1,0 мм. При необходимости устранения более глубоких дефектов нужно наносить несколько слоев шпатлевки, каждый последующий после полного высыхания предыдущего.

Основой лакокрасочных материалов являются *пленкообразующие вещества*, способные образовывать тонкие прочные монолитные полимерные пленки. В качестве пленкообразующих применяют различные растительные масла, смолы, эфиры целлюлозы. Для получения лака их растворяют в соответствующих растворителях – летучих органических жидкостях, близких им по полярности. Так, полярные пленкообразователи, содержащие -ОН группы, например феноло-формальдегидные смолы, растворяют в полярных растворителях – спиртах. *Неполярные и слабополярные пленкообразующие* (высыхающие масла, битумы) растворяют в неполярных и слабополярных растворителях: бензине, скипидаре, уайт-спирите и т.д.

Растворителями служат органические жидкости, которые не вызывают химических превращений пленкообразующего и испаряются в процессе пленкообразования. В зависимости от температуры кипения различают низко – (ниже 100°C), средне – (100...150°C) и высококипящие (до 250°C) растворители. Многие лакокрасочные материалы содержат смеси нескольких растворителей.

*Пигменты* придают эмалям цвет и укрывистость, т.е. способность перекрывать цвет подложки.

*Наполнители* вводят в состав эмалей для улучшения их малярно-технических свойств, повышения прочности, влаго-, свето-, термостойкости и др., а также с целью экономии пигментов. В качестве наполнителей используются неорганические тонкодисперсные порошки – мел, тальк, синтетические продукты.

*Пластификаторы* улучшают технологические свойства лакокрасочного материала, расширяя область его высокоэластического состояния. Довольно часто для этих целей используют дибутилфталат (ДБФ).

*Сиккативы* ускоряют высыхание лаков и эмалей, приготовленных на основе растительных масел. Они представляют собой линолеаты, резинаты, нафтенаты кобальта, марганца, свинца, реже цинка, кальция и других элементов.

*Стабилизаторы* замедляют окисление, деструкцию и другие процессы, ухудшающие физико-механические свойства покрытий.

В зависимости от пленкообразующего вещества лакокрасочные материалы подразделяются на *смоляные, эфироцеллюлозные* (нитроцеллюлозные и этилцеллюлозные), *маслосодержащие* (битумно-масляные), *канифольные* и др.

Маркируют лакокрасочные материалы знаками пяти групп. Первая группа знаков определяет вид лакокрасочного материала (пишется обычным словом) «лак», «эмаль», «грунт», «шпатлевка». Вторая группа характеризует пленкообразующее вещество (основу лакокрасочного материала) и обозначается обычно двумя буквами: КТ – канифольное, БТ – битумно-масляное, ГФ – глифталевое, ПФ – пентафталевое, ФА – фенольно-алкидное, КЧ – каучуковое, АК, АС – полиакриловое, ВА – поливинилацетатное, МА – масляное, НЦ – нитро-целлюлозное, ХВ, ХС – перхлорвиниловое и др. Третья группа определяет категорию, к которой относится лакокрасочный материал по его преимущественному назначению, и обозначается цифрой: 1 – атмосферостойкий; 2 – стойкий внутри помещения; 3 – радиационностойкий; 4 – водостойкий; 5 – специальный (для кож, резин, светостойкий и т.д.); 6 – масло-бензостойкий, 7 – стойкий к химическим средам; 8 – термостойкий; 9 – электроизоляционный; 0 – грунтовка; 00 – шпатлевка. Четвертая группа определяет порядковый номер, присвоенный данному составу эмали, пятая группа – цвет, например черный.

По условиям эксплуатации лакокрасочные покрытия подразделяются на стойкие внутри помещения (П) при температуре  $25 \pm 10^\circ\text{C}$  и влажности  $65 \pm 15\%$ ; атмосферостойкие (А) при температурах от  $-60$  до  $+60^\circ\text{C}$ , влажности до 95% при  $25^\circ\text{C}$ , допускается морской туман и загрязнение промышленными газами; химически стойкие в агрессивных парах и газах (Х); стойкие к воздействию кислот (ХК) и щелочей (ХЩ); водостойкие (В); стойкие в морской воде (ВМ); термостойкие ( $T_{350}$ ), внизу указана допустимая температура эксплуатации, °С; маслостойкие (М); бензостойкие (Б); электроизоляционные (Э).

Условия эксплуатации указываются после обозначения типа лакокрасочного материала, например эмаль ПФ-28 черная – ПХК. Так как основ-

ные свойства лакокрасочных материалов и покрытий определяются пленкообразующими веществами, далее рассматривается классификация по этому признаку.

### 6.3. Маслосодержащие лакокрасочные материалы

Пленкообразующими веществами являются растительные масла, чаще всего совмещенные со смолами и битумами. Растительные масла по химическому составу представляют собой сложные эфиры глицерина и предельных и непредельных жирных кислот – глицериды. По способности высыхать растительные масла делят на три группы.

1. *Высыхающие* (льняное, тунговое) – содержат 75...85% непредельных жирных кислот. При  $20\pm 2^\circ\text{C}$  высыхают за 6...7 суток.

2. *Полувысыхающие* (подсолнечное, ореховое) – сохнут медленно. Непредельных кислот в них 55...75%.

3. *Невысыхающие* масла (касторовое, оливковое) – не сохнут в нормальных условиях. Содержание непредельных кислот составляет до 10%.

Высыхание происходит за счет присоединения кислорода воздуха по месту двойных связей, т.е. такие масла относятся к термореактивным пленкообразователям. Для ускорения сушки применяют нагрев до  $100^\circ\text{C}$  и катализаторы (сиккативы) в виде оксидов поливалентных металлов (свинца, марганца, кальция). Время отверждения снижается с 7 сут до 24 часов.

*Масляные* лакокрасочные покрытия не размягчаются при нагревании, не растворяются в воде, стойки к воздействию трансформаторного масла даже при нагревании, однако набухают в воде и при длительном их взаимодействии. Удельное объемное электрическое сопротивление масляных лаковых покрытий  $\rho_v = 1014...1017 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , а электрическая прочность  $E_{пр} = 50...60 \text{ кВ/мм}$ .

Для пропитки тканей, лакобумаг и обмоток трансформаторов используют в чистом виде смесь масел с битумами и смолами.

*Битумы* представляют собой смесь углеводородов различной консистенции. В лакокрасочной промышленности применяются в основном тугоплавкие битумы с температурой плавления  $125...150^\circ\text{C}$ . Они являются слабополярными веществами с высокими диэлектрическими свойствами:

$\rho_v = 1017...1019 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ;  $E_{пр} = 10...30 \text{ кВ/мм}$ ;  $\varepsilon = 2,5...3,0$ ;  $\text{tg}\delta = 0,005...0,010$ .

*Масляно-битумные* (МА) покрытия относятся к покрытиям горячей сушки. Пленки их обладают высокой влагостойкостью к действию кислот, но они не маслостойки. Теплостойкость покрытий составляет до  $130^\circ\text{C}$ , удельное объемное электрическое сопротивление  $\rho_v = 1015...1016 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , электрическая прочность  $E_{пр} = 65 \text{ кВ/мм}$ . Применяются для электроизоляции, пропитки обмоток электрических машин, трансформаторов, катушек, лакотканей, защитных покрытий.

*Масляно-глифталевые* (ГФ) (в лакокрасочной промышленности их называют глифталевыми) покрытия более теплостойки (до  $155^\circ\text{C}$ ), эластичны, стойки к тепловому старению и имеют более высокую адгезию, чем масляные. Сушка покрытий производится при температуре  $100...150^\circ\text{C}$ . Диэлектрические свойства покрытий:  $\rho_v = 1015...1016 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ,  $E_{пр} = 40...65 \text{ кВ/мм}$ . Их применяют для пропитки обмоток электрических машин, трансформаторов, склейки слюды малогабаритных статоров и якорей, для защитных покрытий приборов и машин, работающих в помещении, в атмосферных условиях в умеренном поясе и в тропиках.

*Масляно-пентафталевые* (ПФ) покрытия имеют высокие электроизоляционные свойства, по механическим свойствам и скорости сушки превосходят глифталевые.

*Водоэмульсионные лаки* (аквалиты) представляют собой эмульсию из диспергированных в воде масляных и других лакокрасочных композиций. Преимущество их перед другими лакокрасочными материалами – исключение из состава огнеопасных и токсичных растворителей. Сушка ведется при повышенных температурах. Эти лаки применяются для окраски автомобилей, пропитки обмоток электрических машин и трансформаторов.

### 6.4. Смоляные лаки и эмали

*Полихлорвиниловые смолы* (ПХВ) являются полярными, поэтому электроизоляционные свойства их невысоки. Они негорючи, стойки к действию кислот и щелочей, хлору, аммиаку, однако имеют низкую адгезию к металлам, невысокую теплостойкость (до  $80^\circ\text{C}$ ) и плохую растворимость.

Для повышения адгезии и улучшения растворимости ПХВ хлорируют. Смолы с содержанием хлора до 65...60% называются *перхлорвиниловыми* (в ПХВ хлора 56%). Время высыхания слоя лакокрасочного материала на их основе составляет 2...3 ч при  $18^\circ\text{C}$ . Покрытия имеют  $\rho_v = 1015...1017$

Ом·м,  $E_{пр} = 35 \dots 50$  кВ/мм, высокую стойкость к бензину, маслам и воде, сохраняя эти свойства при температурах от  $-60$  до  $+100^\circ\text{C}$ . Возможно нанесение их путем распыления. К недостаткам перхлорвиниловых покрытий можно отнести изменение цвета под влиянием атмосферы и большой удельный расход лакокрасочного материала. Применяют эти смолы для покраски приборов, работающих в условиях агрессивных сред и тропиков. В авиации широко используют лаки КС-77, КС-76, эмали ХВ-1100, ХВ-110, ХС-710 для окраски алюминиевых и магниевых сплавов.

**Кремнийорганические лаки** длительно сохраняют свои свойства при температурах до  $200^\circ\text{C}$ , наполненные диоксидом титана, оксидом сурьмы – до  $260^\circ\text{C}$ , а с оксидом алюминия (пудрой) – до  $550^\circ\text{C}$ ; химически инертны, обладают очень высокой водомаслостойкостью, бензостойки, а также стойки к действию растворов солей, озона, плесени, обладают хорошими диэлектрическими свойствами ( $\rho_v = 1015$  Ом·м,  $E_{пр} = 50 \dots 65$  кВ/мм при  $20^\circ\text{C}$  и  $\rho_v = 1013 \dots 1014$  Ом·м,  $E_{пр} = 25$  кВ/мм при  $200^\circ\text{C}$ ). К их недостаткам можно отнести низкую адгезию, необходимость сушки при повышенных температурах, а также невысокую прочность. Для улучшения адгезии кремнийорганические лаки модифицируют полиэфирами.

Кремнийорганические лаки нашли широкое применение в качестве электроизоляционных материалов для изделий с повышенной температурой эксплуатации. Например, лак КО-08 сохраняет диэлектрические свойства до температуры  $350^\circ\text{C}$ . Допускаемая температура  $400^\circ\text{C}$  для лака КО-814. До  $500^\circ\text{C}$  выдерживают покрытия на основе лаков КО-88 и КО-813.

**Органосиликатный лакокрасочный материал** ВН-30ДТС представляет собой суспензию измельченных силикатов и оксидов металлов в толуольном растворе кремнийорганических полимеров. Высыхают покрытия за 24 ч при  $15 \dots 35^\circ\text{C}$ . Температура эксплуатации от  $-60$  до  $+300^\circ\text{C}$ . Применяют эти материалы для окраски металлических и неметаллических поверхностей, опор контактных сетей и линий электропередач, электрофильтров, защиты деталей радиоаппаратуры от атмосферной коррозии. Срок службы – не менее 12 лет.

**Нитроцеллюлозные лаки и эмали** получили широкое применение благодаря быстрому высыханию, что способствует созданию поточных методов окрашивания массовых изделий с образованием пленки с хорошими диэлектрическими свойствами, высокими твердостью, бензо-

маслостойкостью и удовлетворительной атмосферостойкостью. Недостатками покрытий являются пониженная адгезия, невысокая термостойкость и легкая воспламеняемость. Для металлических поверхностей, эксплуатируемых в холодном, умеренном и тропическом климате, применяют эмали НЦ-11, для работы в атмосферных и других условиях – НЦ-132. Долговечность покрытий обычно составляет 2...3 года.

Эпоксидные лаки и эмали обладают высокой адгезией, малой пористостью, хорошей атмосферостойкостью, влаго- и термостойкостью (от  $-60$  до  $+200^\circ\text{C}$ ). Устойчивы к действию щелочей и кислот средней концентрации. Выпускаются обычно в виде 2-компонентных композиций: собственно лак или эмаль и отвердитель, вводимый непосредственно перед употреблением (отвердители – полиамины, фенолы и др.). Покрытия обладают хорошими электроизоляционными свойствами ( $\rho_v = 1015 \dots 1017$  Ом·м,  $E_{пр} = 50 \dots 80$  кВ/мм). Применяются эти материалы для электроизоляции проводов, окраски металлических поверхностей приборов и электроаппаратуры, эксплуатируемых в различных климатических условиях. Для тропических условий используют эпоксидно-меламиновые эмали.

**Полиуретановые лаки** отличаются хорошей адгезией к металлам, высокой атмосферостойкостью. Благодаря хорошим электроизоляционным свойствам ( $\rho_v = 10^{16}$  Ом·м,  $E_{пр} = 70$  кВ/мм), водо- и теплостойкости они получили широкое применение для эмалирования проводов, пропитки хлопчатобумажной и стекловолокнистой изоляции.

**Полиимидные покрытия** стойки к действию тепловых ударов от  $-190$  до  $+340^\circ\text{C}$ , обладают длительной термостойкостью при температуре до  $260^\circ\text{C}$ , кратковременной – до  $500^\circ\text{C}$ , высокими физико-механическими свойствами, устойчивы к действию растворителей, стойки к кислотам, но разрушаются в щелочах, обладают хорошими диэлектрическими свойствами, мало изменяющимися в диапазоне температур до  $300^\circ\text{C}$  ( $\rho_v = 10^{15} \dots 10^{16}$  Ом·м,  $E_{пр} = 95 \dots 200$  кВ/мм). Могут работать в вакууме до  $10^7 \dots 10^8$  Па при температурах до  $370^\circ\text{C}$ , негорючи. Используют полиимидные лакокрасочные материалы для электроизоляции электродвигателей, работающих при температурах до  $250^\circ\text{C}$ , окраски самолетов и др.

Покрытия на основе *акриловых смол* (АК, АС) эластичны, стойки к ударным нагрузкам, обладают хорошей адгезией к металлам, сохраняют свои свойства при работе в условиях 98...100% влажности при темпера-

туре 55...60°C. При наличии эпоксидного грунта стойкость покрытия составляет до 3-6 лет.

**Полиэфирные лакокрасочные материалы** имеют высокую твердость, хороший блеск, удовлетворительную стойкость к истиранию, но малоэластичны, нестойки к ударным нагрузкам, обладают низкой адгезией к металлам и применяются в основном для окраски древесины.

**Органодисперсные покрытия.** Органодисперсии – это двухфазные системы, состоящие из коллоидных частиц полимера – пленкообразователя (химически стойкого полимера) и жидкой среды (органической жидкости). В результате термообработки удаляются жидкие компоненты, а полимерные частицы спекаются, образуя покрытие. Широко применяются ПВХ и его сополимеры. Фторсодержащие органодисперсии (из фторлаков) отличаются тепло- и морозостойкостью (от -196 до +260°C), химической стойкостью, электроизоляционными свойствами. Покрытия гидрофобны, антиадгезионны и антифрикционны. Покрытия на основе поливинилиденфторида обладают большой химо- и атмосферостойкостью, устойчивы к истиранию, износу, эрозии под действием песка, пыли, не воспламеняются. Срок службы до 30 лет.

## 6.5. Травильные материалы

Химическое удаление окалины и ржавчины с поверхности металла основано преимущественно на их растворении, иногда с применением электрического тока.

Окалина с поверхности стали удаляется обычно травлением в кислотах. Чаще всего применяют серную, реже соляную кислоты. При растворении стали в кислотах образуется соль закисного железа и водород:  $Fe + H_2SO_4 = FeSO_4 + H_2$ . Образующийся водород создает на поверхности металла небольшие пузырьки, которые своим давлением отрывают окалину от основного металла (растворение окалины в кислоте является второстепенным процессом). Для снижения потери металла и предотвращения диффузии водорода в металл (появляется водородная хрупкость) используют раствор кислоты и добавление ингибиторов, а также ограничивают время травления и температуру раствора. Для травления стали применяют 5...20%-ную серную кислоту, в которую добавляют ингибитор S9 в концентрации 8 г/л или ингибитор DBS – 1 г/л раствора). Температура раствора составляет 30...40°C, время травления 10...20 мин, предельно до-

пустимое содержание железа в растворе – 90 г/л. После травления детали промывают в 0,5...1%-ном растворе соды.

При травлении соляной кислотой получают более чистую поверхность. Концентрация раствора составляет 10...20% соляной кислоты, 8 г ингибитора S9 на 1 л раствора, процесс протекает при нормальной температуре, время травления 10...20 мин.

Травление в фосфорной кислоте имеет ряд преимуществ по сравнению с серной и соляной кислотами: меньше опасность перетравления, отсутствует надобность в ингибиторах, поверхность после травления менее склонна к коррозии (на поверхности образуется тонкая пленка фосфатов). Температура и концентрация раствора такие же, как и при травлении в серной кислоте.

Травление может осуществляться не только погружением, но и натиранием деталей (для крупных конструкций).

В отличие от травления стали при травлении чугуна встречаются две трудности: остатки песка на поверхности отливок и пористость чугуна. Единственной кислотой, способной растворять кремнистые соли и песок, является плавиковая кислота. Применяют раствор, содержащий 10% соляной кислоты и не более 10% плавиковой. После травления применяют нейтрализующую промывку в 1%-ном растворе соды в течение 5 мин.

Для травления высоколегированных сталей применяют водный раствор, содержащий 13% соляной, 4% серной и 9% азотной кислот, рабочая температура до 85°C. Зачастую серную кислоту заменяют фосфорной или плавиковой кислотами (до 10%).

Для травления меди и ее сплавов используют следующие составы на 1 л воды: 160 г концентрированной серной кислоты, 50 г хромпика, температура до 80°C; 100 г концентрированной серной кислоты и 100 г сернокислого железа, температура 50...80°C. При опаливании (детали погружают на короткое время в крепкий раствор смеси кислот) применяют следующие растворы: 3 л концентрированной азотной кислоты, 1 л воды, 110 г поваренной соли; для заключительного чистового опаливания – концентрированные азотная и серная кислоты в пропорции от 1:2 до 2:1 и небольшое количество калиевого хромпика или хромовой кислоты (около 1%).

Травление алюминия производится в 10...20%-ном растворе едкого натра при температуре 50...80°C на протяжении 2 мин. При травлении интенсивно выделяется водород, отделяющий с поверхности нераствори-

мые загрязнения. Для улучшения внешнего вида деталей и более равномерного хода травления на 100 г едкого натра добавляют 20 г поваренной соли или 20...50 г фтористого натрия. После травления для осветления поверхностей деталей применяют кратковременное погружение в концентрированную или разбавленную до 50% азотную кислоту (иногда с добавлением 25% плавиковой кислоты). Для травления алюминия также применяют растворы кислот: на 1 л воды – 65 г хромового ангидрида, 350 г серной кислоты; на 1 л воды – 175 г хромового ангидрида, 35 г серной кислоты, время травления 0,5...2 мин, температура раствора 60...70°C. Перед травлением детали обезжиривают. Сплавы алюминия, содержащие марганец, травятся в течение 2...5 мин при комнатной температуре в водном растворе 8% плавиковой и 13% азотной кислот.

Перед нанесением органических покрытий после травления алюминиевые сплавы погружают на 5...10 мин (или протирают) в раствор, содержащий 10% фосфорной кислоты, 40% бутилалкоголя, 30% изопропилового спирта, 20% воды. После травления производят промывку и сушку деталей.

Для травления магния и его сплавов используют слабые растворы (7...10%) любых кислот, кроме плавиковой, с погружением деталей на несколько секунд, последующей промывкой и просушкой. Для травления магния наиболее подходит хромовая кислота. Для этого применяют 15%-ный раствор хромового ангидрида в дистиллированной воде при температуре 90...100°C, время погружения 1...5 мин.

Хорошую очистку стальных деталей от продуктов коррозии можно достичь в растворах травления с применением электрического тока, при этом используют в основном два способа электролитического травления: травление в щелочном цианистом электролите и анодное травление в серной кислоте.

При травлении в щелочном цианистом электролите направление тока постоянно изменяют, т.е. деталь попеременно становится то анодом, то катодом. Достоинством этого метода является абсолютное удаление с поверхности стали продуктов коррозии независимо от наличия на поверхности остатков жировых загрязнений. Время травления составляет 10...60 мин. Состав электролита в г/л: 30...10 NaOH, 20...50 NaCN, 10 NaCl. Температура раствора 45°C, плотность тока 3...6 А/дм<sup>2</sup>, режим чередования 45...50 с деталь катод, 10...15 с – анода, противоположным электродом является стальная пластина.

Анодное травление стальных деталей в растворе серной кислоты осуществляется непосредственно перед их защитным покрытием с целью улучшения адгезии. Время травления может составлять от нескольких секунд до 2 мин и зависит от плотности тока (до 20 А/дм<sup>2</sup>), температуры раствора, концентрации раствора (до 70%). Травление производят в ванне, футерованной свинцом, катодный электрод также свинцовый.



## Раздел II ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ

### Глава 7. ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ РЕЗАНИЕМ

#### 7.1. Материалы для режущих инструментов

В основу режущих инструментов положен режущий клин, состоящий из двух поверхностей, сходящихся в острую кромку. При перемещении клина относительно обрабатываемого материала он давит на заготовку и разделяет ее на две неравные части, меньшая из которых деформируется и превращается в стружку. Режущий клин при работе подвергается истиранию, тепловым воздействиям и силовым нагрузкам. Внедрение клина в заготовку возможно лишь при преобладающей прочности материала клина.

Материалы для режущих инструментов подразделяются на следующие основные группы: инструментальные стали; твердые сплавы; минералокерамика и керметы, сверхтвердые материалы.

Инструментальные стали в зависимости от химического состава делятся на углеродистые, легированные и быстрорежущие. По твердости в холодном состоянии все эти стали мало отличаются друг от друга, основное их отличие в теплостойкости. Углеродистые стали (У10А, У12А и др.) имеют низкую теплостойкость – до 200...250°C. У легированных сталей (имеют около 1% легирующих элементов: вольфрама, хрома, ванадия и др.) – большая теплостойкость – до 300°C (марки 9ХС, ХВГ, Х6ВФ и др.). Углеродистые и легированные стали применяются для изготовления инструментов, работающих с малыми скоростями резания: плашки, метчики, развертки и слесарные инструменты.

Быстрорежущие стали имеют содержание вольфрама до 6...18% и большое количество легирующих элементов: Р – вольфрам, К – кобальт, М – молибден, Ф – ванадий и др. Быстрорежущие стали умеренной тепло-

стойкости – до 620...630 °С (марки Р9К10, Р9М4К8, Р18Ф2К8М и др.) – предназначены для обработки труднообрабатываемых материалов: жаропрочных и титановых сплавов, нержавеющей сталей и др. Стали с высокими теплостойкостью (до 700...730°C) и твердостью (до 68...69 HRC) легированы большим количеством кобальта (до 16...25%), вольфрама (до 11...20%) и молибдена (до 4...7%). Эти стали (марки В18М7К25, В14М7К25 и др.) используются при резании труднообрабатываемых материалов.

Твердые сплавы изготавливаются методом порошковой металлургии. Основными компонентами твердых сплавов являются карбиды вольфрама, титана и тантала, а в качестве связки используются кобальт, никель, молибден. Теплостойкость твердых сплавов различных марок составляет 800...1000°C, твердость – до 86...90 HRC, прочность при сжатии – до 3,5 ГПа, прочность при изгибе – до 1,8 ГПа. Инструменты из твердых сплавов работают на высоких скоростях резания. В зависимости от состава карбидной фазы твердые сплавы делятся на четыре группы: однокарбидные (группа ВК), двухкарбидные (группа ТК), трехкарбидные (группа ТТК) и безвольфрамовые (группа ТН).

Сплавы группы ВК содержат карбид вольфрама и кобальт, являющийся своеобразной связкой. Марки ВК3, ВК4 (96% WC и 4% Co) имеют высокую твердость, но более хрупкие, используются для чистовой обработки, а сплавы (ВК8, ВК10) с большим содержанием кобальта, как наиболее вязкие, применяются при черновой обработке материалов. Физико-механические свойства твердых сплавов во многом определяются размером зерен порошков, применяемых для спекания. Большой износостойкостью обладают мелкозернистые (ВК-М и др.) и особомелкозернистые (ВК6-ОМ, ВК10-ОМ и др.) сплавы, которые для повышения режущих свойств зачастую легируются хромом (ВК6-ХОМ, ВК15-ХОМ и др.).

Двухкарбидные твердые сплавы содержат карбиды вольфрама, титана и кобальт, например сплав марки Т30К4 содержит 30% TiC, 4% Co и 66% WC. Сплавы группы ТК имеют большую твердость и хрупкость, поэтому применяются при получистовой и чистовой обработке высокотвердых материалов.

Трехкарбидные сплавы дополнительно содержат карбид тантала TaC. Например, сплав ТТ20К9 содержит 20% (TiC + TaC) + 9%Co + 71%WC. Сплавы группы ТК превосходят двухкарбидные по прочности, обладают высокой износостойкостью, хорошо сопротивляются ударным нагрузкам

и вибрациям, поэтому их используют при строгании, фрезеровании и черновой обработке с большими сечениями срезаемого слоя.

Безвольфрамовые твердые сплавы явились следствием дефицита вольфрама и содержат в своем составе карбид или кабонитрид титана и тугоплавкие связки (обычно никельмолибденовые). Безвольфрамовые сплавы (марки КНТ-16, ТН 20, ТН 30 и др.) имеют более низкие прочность, теплопроводность, склонны к разупрочнению при повышенных температурах, но имеют и ряд положительных свойств: низкий коэффициент трения, пониженную склонность к адгезивному взаимодействию с обрабатываемым материалом. Их применяют при обработке конструкционных и малолегированных сталей и чугунов, а также некоторых цветных металлов.

Режущие инструменты, оснащенные минералокерамикой, обладают высокими твердостью (92...94 HRA), теплостойкостью (до 1200°C) и износостойкостью. Наибольшее распространение получила керамика оксидного и оксидно-карбидного типов. Оксидная керамика содержит до 99%  $Al_2O_3$  (например, марка ЦМ 332). Ее используют только для чистой и получистой обработки материалов на виброустойчивых станках. Оксидно-карбидная керамика получается добавлением к основе ( $Al_2O_3$ ) одинарных и сложных карбидов титана, вольфрама и молибдена (до 40%). Выпускаются керамики марок ВЗ, ВОК-60, ВОК-63 в виде пластин, которые крепятся к корпусу инструмента.

К группе сверхтвердых материалов относятся естественные и искусственные алмазы и нитрид бора.

Твердость алмаза составляет порядка 100 ГПа, он обладает высокой износостойкостью, малым коэффициентом трения, хорошей теплопроводностью, однако имеет относительно низкую теплостойкость (800°C) и большую хрупкость ( $\sigma_n = 0,3 \dots 0,6$  ГПа). В качестве синтетических алмазов используют поликристаллы марок баллас, карбонадо, карболит (по твердости они близки твердости природных алмазов, а по прочности на изгиб в 2-3 раза превосходят их). Инструменты из синтетических алмазов показывают высокие режущие свойства при обработке титановых сплавов, высококремнистых алюминиевых сплавов, медных сплавов, стеклопластиков, композиционных материалов, минералокерамики и других материалов. Для обработки сталей алмазные инструменты непригодны ввиду высокой химической активности, которая приводит к интенсивному износу инструмента. На ос-

нове синтетических алмазов выпускают композиционные материалы, например пластины марок АТП (алмазно-твердосплавные), БПА (бипластины алмазные).

Кубический нитрид бора (КНБ) – синтетический материал, по твердости (90 ГПа) близкий к твердости алмаза, а по теплостойкости (1500°C) значительно превосходящий все инструментальные материалы. КНБ химически нейтрален к железу и углеродистым сплавам. Промышленностью выпускается целая гамма композитов на основе КНБ: Эльбор-Р, гексинит, белбор и др. Они синтезируются в виде цилиндрических столбиков диаметром 4...8 мм и высотой 3...6 мм. Основное применение режущие инструменты на основе КНБ нашли при обработке сталей и чугунов различной твердости, причем зачастую не требуется операция последующего шлифования. Сравнительные характеристики различных режущих инструментов представлены в табл. 36.

Таблица 36

Физико-механические свойства некоторых режущих материалов

Материал	Марка	Микро- твер- дость,  МПа	Теп- лостой- кость,  К	Предел прочности, МПа		Удар- ная вяз- кость,  Дж/м <sup>2</sup> × ×10 <sup>-6</sup>	Кoeffи- циент от- носи-  тельной скорости резания
				На изгиб	На сжатие		
Твердые сплавы	Т15К6;	27500	1176	1130	3900	2,94	4
	ВК8	15700	1123	1570	4410	5,88	3
Быстроре- жущая сталь	P18	13200	888	3530	3530	9,81	1
Минерало- керамика	ЦМ332	22500	1473	390	1470	0,98	5...7
Кубиче- ский нит- рид бора	Эльбор	90700	1573	785	–	–	6...8
Легиро- ванная сталь	ХВГ	11800	503	3430	3430	9,81	0,6
Углероди-							

стальная сталь	У10А	12800	493	2940	2940	9,81	0,4
Алмазы	А	98700	973	290	1960	–	1,5

К одному из видов резания относится абразивная обработка материалов: разрезка очень твердых материалов; зачистка сварных швов; заточка лезвийных режущих инструментов; шлифование, хонингование, притирка, полирование и др. Для изготовления абразивных инструментов используются частицы материалов различной зернистости, обладающие высокой твердостью и способностью резания. Абразивные инструменты бывают со связанными зёрнами (шлифовальные круги, головки, бруски, ленты) и в виде несвязанных – свободных зёрен (пасты, суспензии, порошки). Для изготовления абразивных инструментов используют главным образом искусственные абразивные материалы: электрокорунд, карбид кремния, карбид бора, синтетические алмазы, кубический нитрид бора. Основная составляющая электрокорунда – кристаллический оксид алюминия  $Al_2O_3$  (микротвердость 18,6...23 ГПа, плотность 3,93...4,01 г/см<sup>3</sup>). Существует несколько разновидностей электрокорунда, отличающихся режущими свойствами, прочностью и размером зёрен.

Карбид кремния SiC обладает более высокой твердостью (до 32...35 ГПа), но имеет высокую хрупкость и малую прочность, поэтому применяется для обработки хрупких материалов – чугунов, бронзы, титановых и тугоплавких сплавов, заточки твердо-сплавных инструментов.

Карбид бора  $B_4C$  имеет высокую твердость (39...44 ГПа), большую хрупкость и применяется в виде порошков для доводочных процессов и при ультразвуковой обработке хрупких материалов.

Для изготовления абразивных инструментов также используются синтетические алмазы и кубический нитрид бора.

По зернистости абразивные материалы подразделяются на четыре группы: шлифзерна, шлифпорошки, микропорошки и тонкие микропорошки, которые в свою очередь тщательно подразделяются по номерам зернистости в зависимости от назначения абразивного материала.

Эффективность работы абразивных зёрен очень сильно зависит от связующего вещества: неорганические (керамическое, магниальное, силикатное), органические (бакелитовое, глифталевое, вулканическое), металлические (порошки олова, меди, алюминия + наполнители).

## 7.2. Элементы режима резания

При обработке материалов резанием различают обрабатываемую поверхность, обработанную и поверхность резания (пример обработки точением дан на рис. 6). *Обработанная поверхность* получается после снятия стружки и ее вид определяется сочетанием рабочих движений. Главное движение определяет быстроту деформирования слоя, снимаемого с заготовки, а скорость этого движения называют *скоростью резания*  $V$ . Движение, предназначенное для врезания инструмента в новые слои материала заготовки, называется *подачей*, скорость подачи обозначают  $S$ . *Поверхность резания* образуется на обрабатываемой детали непосредственно режущей кромкой и зависит от формы клина режущего инструмента.

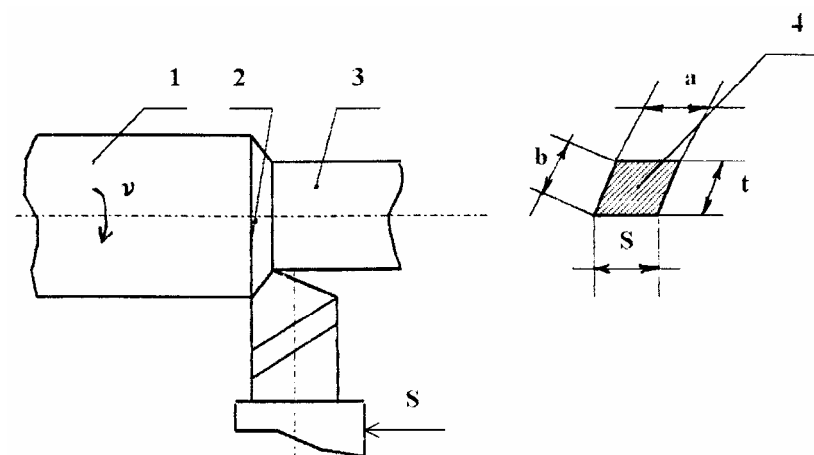


Рис. 6. Поверхности резания и сечение срезаемого слоя:  
1 – обрабатываемая поверхность; 2 – поверхность резания;  
3 – обработанная поверхность; 4 – сечение срезаемого слоя

Рабочие движения могут быть непрерывными (точение, сверление, фрезерование) или прерывистыми (строгание). При круглом шлифовании главное движение осуществляется непрерывно шлифовальным кругом, а подача – прерывисто. Главное рабочее движение всегда одно, а подач может быть несколько (например, поперечная подача  $S_{\text{поп}}$ , продольная подача  $S_{\text{прод}}$ ).

Скорость резания при вращательном главном рабочем движении определяется окружной скоростью точки, взятой на наибольшем диаметре заготовки, м/мин:

$$V = \pi Dn/1000,$$

где  $D$  – диаметр заготовки, мм;  $n$  – частота вращения,  $\text{мин}^{-1}$ .

При продольном точении цилиндрических заготовок скорость резания постоянна, а при поперечной подаче (подрезка торца, отрезка) окружная скорость уменьшается к центру детали.

При шлифовании скорость резания определяется по этой же формуле, где  $D$  – диаметр шлифовального круга.

Подача  $S$  – величина перемещения режущей кромки резца в направлении подачи в единицу времени или за один оборот заготовки.

Глубина резания  $t$  (см. рис. 6) – размер срезаемого слоя, определяемый в направлении радиуса заготовки как полуразность диаметра заготовки  $D$  и диаметра обработанной поверхности  $d$  ( $t = (D-d) / 2$ ). Сечение срезаемого слоя может быть определено по формуле:

$$f = t \cdot S = a \cdot b,$$

где  $a$  – толщина срезаемого слоя в направлении, нормальном к режущей кромке;  $b$  – ширина срезаемого слоя (определяется шириной поверхности резания).

Параметры  $t$ ,  $S$  являются технологическими и характеризуют выбранный режим резания, параметры  $a$ ,  $b$  являются физическими и характеризуют параметры стружки.

Поскольку процесс резания осуществляется по винтовой линии, то на обработанной поверхности образуются следы («гребешки») в виде винтовых канавок, размеры которых зависят от величины продольной подачи и радиуса округления вершины резца. Естественно, чем больше радиус округления и меньше величина подачи, тем меньше шероховатость поверхности.

При увеличении  $V$ ,  $S$  и  $t$  увеличивается объем материала, снимаемый в единицу времени, т.е. увеличивается производительность. Но наступает момент, когда дальнейшее повышение уровня режима резания приводит к быстрому износу инструментов, узлов станка и оборудования. Основным фактором здесь является расход режущего инструмента за счет абразивного воздействия, выкрашивания и осыпания. Износ инструмента происходит по определенным закономерностям. Вначале прирабатывается и несколько округляется режущая кромка. Постепенно величина износа достигает определенного значения, допустимого без ухудшения чистоты и точности обработки. Дальнейшая работа приводит к резкому возрастанию

износа по задней и передней поверхностям режущего клина и его разрушению. Время работы резца до допустимой величины износа, определяемой критерием затупления, называется периодом стойкости  $T$  и выражается в минутах (секундах), в единицах длины пути режущей кромки или по величине срезаемой площади. Для определения оптимального износа пользуются различными критериями, однако на практике в основном применяют органо-лептический контроль (по внешнему осмотру режущей кромки, по характерному звуку при резании, по температуре режущего инструмента и т.п.), эффективность которого зависит от профессиональной подготовки и производственного опыта специалиста.

Характеристики режимов резания ( $T$ ,  $V$ ,  $S$ ,  $t$  и др.) определяются обрабатываемостью материала, под которой понимается комплекс характеристик, определяющих способность материалов ограничивать производительность и качество обработки, например, величины износа и стойкости режущих инструментов, оптимальные значения геометрических параметров режущей части инструментов и режимов резания, физико-химические свойства обрабатываемого и инструментального материалов и др.

Выбор режимов резания определяется по справочникам, составленным на основе практического опыта и математических моделей, в которых указывается (в зависимости от обрабатываемого материала): материал режущего инструмента, углы его заточки, характеристики режимов резания, потребность в применении охлаждающей или смазывающей жидкостей и т.п.

### 7.3. Образование обработанной поверхности и стружки

Процесс резания можно рассматривать как процесс местного сжатия металла резцом с последующим образованием стружки. Слой материала, подлежащий срезанию, находится в сложнапряженном состоянии; упругим и пластическим деформациям подвергаются также близлежащие слои материала впереди резца и под резцом. В процессе резания различных материалов могут образовываться следующие основные виды стружек: сливные (непрерывные), скальвания (элементобразные) и надлома. Сливные стружки образуются при резании вязких и мягких материалов (мягких сталей, латуни, древесных материалов, большинства пластмасс и др.) и являются наиболее распространенными. Стружки надлома образуются при резании хрупких материалов (серых чугунов, бронзы и др.) и состоят из отдельных, как бы вырванных элементов, почти не связанных

между собой. Обработанная поверхность при такой стружке получается шероховатой, неровной. Стружки скалывания занимают промежуточное положение между сливными стружками и стружками надлома и образуются при обработке некоторых сортов латуни, твердых сталей и других материалов с большими подачами и относительно малыми скоростями резания. С изменением условий обработки стружка скалывания может перейти в сливную, и наоборот. Образованию сливной стружки способствуют увеличение переднего угла режущего инструмента, уменьшение толщины среза, повышение скорости резания.

Характер и степень деформации при образовании стружки определяют шероховатость обработанной поверхности, количество тепла, выделяющегося при резании, форму стружки, износ режущего инструмента и другие явления, происходящие при резании материалов.

В процессе резания пластическая деформация происходит не только в срезаемом слое, но и в поверхностном слое основной массы материала; пластическое деформирование вызывает изменение свойств материала. Например, при обработке металлов происходит повышение его твердости, снижаются относительное удлинение и ударная вязкость. Глубина наклепа (упрочнения) уменьшается при увеличении скорости резания. Наибольшее упрочнение получает материал стружки, причем его твердость может быть выше твердости обрабатываемого материала в 1,5-4 раза. При обработке материалов (особенно пластических) резанием происходит усадка стружки, которую можно рассматривать как интегральное выражение степени пластических деформаций материала. Усадка стружки зависит от режимов резания, геометрических параметров инструмента и физико-механических свойств обрабатываемого материала.

В некоторых случаях на передней поверхности резца около режущей кромки налипают обрабатываемый материал, образуя так называемый нарост. Причинами образования нароста являются весьма высокие удельные нагрузки и наличие около режущей кромки небольшой зоны нулевых скоростей (застойная зона в месте раздвоения материала). Твердость нароста в 2-3 раза превосходит твердость обрабатываемого материала, в результате чего сам нарост производит резание материала, являясь как бы продолжением резца. Нарост изменяет форму передней поверхности резца, что приводит к изменению режимов резания. Наростообразование не является стабильным явлением. Нарост, постепенно формируясь, достигает своего максимального значения и, разрушаясь, может быть вдавлен в обработан-

ную поверхность. Нестабильность нароста по высоте ведет к образованию неровностей на обработанной поверхности. На размеры нароста оказывают влияние многие факторы: физико-механические свойства обрабатываемого материала, режимы резания, геометрические параметры инструмента, смазочно-охлаждающая жидкость. С увеличением пластичности обрабатываемого материала размеры нароста возрастают. При обработке материалов с низкой температурой плавления и при высоких скоростях резания и подачи появление нароста возможно за счет оплавления материала.

При резании твердых материалов возникает хрупкое разрушение и трещина, которая распространяясь с большой скоростью, полностью отделяет элемент стружки от основного материала. Распространение трещин ниже линии среза приводит (даже при образовании сливных стружек) к появлению на обработанной поверхности деталей вырывов, выступов и зазубрин.

В процессе резания при определенных условиях возникают колебания (вибрации) технологической системы СПИД (станок – приспособление – инструмент – деталь). Эти вибрации оказывают вредное воздействие на процесс резания: увеличивают износ инструмента, станка и шероховатость обработанной поверхности. Причинами вибрации могут быть: неуравновешенные части станка (шкивы, зубчатые колеса, валы); неуравновешенность вращающегося инструмента (резцовые головки, фрезы, шлифовальные и заточные круги); неуравновешенность обрабатываемой детали; вибрации близко расположенного оборудования; износы в подшипниковых узлах шпинделей станков; неравномерность подачи резца за счет люфтов и износов; изменение механических свойств материала в процессе обработки; появление и срыв наростов; неравномерный припуск на обработку; следы вибраций и гребешков от предыдущего прохода и др.

Для уменьшения вибраций стремятся создать более жесткую технологическую систему СПИД. Для этой цели уменьшают длину закрепляемой детали, вылет пиноли задней бабки, вылет резца, повышают жесткость вращающихся центров, строго контролируют установку резца по центру оси обрабатываемой детали вращения, применяют люнеты и специальные виброгасители.

Таким образом, обработанная поверхность имеет сложную геометрию, а поверхностный слой детали обладает особыми физико-химико-

механическими свойствами, значительно отличающимися от свойств материала заготовки.

Основными характеристиками состояния поверхностного слоя детали после обработки резанием являются:

- шероховатость поверхности, представляет собой совокупность неровностей, образующих рельеф поверхности (наиболее распространенными параметрами оценки являются:  $R_z$  – определяемой по 10 точкам;  $R_a$  – среднеарифметическое отклонение профиля), шероховатость определяют как в продольном, так и в поперечном направлениях следам обработки;

- микротвердость обработанной поверхности (параметры оценки HRA, HRC и др.);

- величина и знак остаточных напряжений (наиболее широко используется метод реперных точек).

Остаточные напряжения образуются в основном в результате совместного действия неравномерного поля деформаций и температур на состояние материала в поверхностном слое детали. Возникающая в зоне деформации теплота может повысить локальную температуру поверхностного слоя. При температуре  $0,2 \dots 0,3 T_{пл}$  возникает «отдых» (полигонизация), а при температурах более  $0,4 T_{пл}$  возможны рекристаллизация и снятие деформируемого упрочнения. Нагрев поверхностного слоя в процессе резания и его охлаждение после обработки (или в перерыве обработки) детали приводят к появлению как сжимающих, так и растягивающих напряжений в разных слоях поверхности.

Увеличение скорости резания, применение смазочно-охлаждающих жидкостей, тщательная заточка инструмента, рациональный выбор режимов резания и геометрических параметров инструментов приводят к уменьшению остаточных напряжений в деталях.

#### **7.4. Станки для обработки материалов резанием**

Современные материалорежущие станки – это довольно разнообразные и широко распространенные машины, позволяющие выполнять сложные технологические процессы. Несмотря на большие достижения технологии производства высококачественных деталей, применение малоотходных технологий, роль обработки резанием и соответственно материалорежущих станков в машиностроении непрерывно возрастает. На современных станках обрабатывают детали – от мельчайших элементов ча-

сов и приборов до деталей, размеры которых достигают нескольких метров – турбин, теплоходов, прокатных станков и др. Поэтому и габариты самих станков весьма различны. Они включают в себя большое число механизмов, а для осуществления движений и управления рабочими циклами применяют механические, электрические и гидравлические методы.

Станкостроительная промышленность нашей страны выпускает большое число материалорежущих станков, различных по назначению, конструктивному исполнению и технологическим возможностям, универсальности, точности и др. Ежегодно осваивается выпуск нескольких сот типов (разновидностей) станков. Для удобного пользования этим обширным классом машин Экспериментальным научно-исследовательским институтом металлорежущих станков (ЭНИМС) разработаны единая классификация и нумерация станков отечественного производства.

В основу классификации станков положен технологический принцип обработки: назначение станка, характер обрабатываемых поверхностей, схема обработки и др. Эта классификация построена по десятичной системе. Все станки (за исключением специальных) подразделяются на десять групп, а группы, в свою очередь, подразделяются на десять типов. Станки делят на токарные, сверлильные, расточные, для абразивной, электрофизической и электрохимической обработки, резьбообрабатывающие, зубообрабатывающие, фрезерные, строгальные, долбежные, протяжные, разрезные и разные. В группы объединяются станки по общности технологического метода обработки или близкие по назначению.

Основные признаки деления станков на типы: вид обработки, применяемый инструмент, степень автоматизации, число важнейших рабочих органов станка и их расположение, технологические, конструктивные, эксплуатационные характеристики и др.

Все группы и типы станков представлены в табл. 37 (классификатор станков).

Система нумерации (условного обозначения) станков отечественного производства основана на присвоении каждой модели станка определенного номера. Обозначение модели станка состоит из трех (или четырех) цифр, иногда с добавлением прописных букв, обозначающих дополнительную характеристику станка. Первая цифра указывает группу, к которой относится станок; вторая – тип станка в пределах данной группы; третья (а при четырехцифровом обозначении – третья и четвертая цифры) – условно характеризует основные технологические особенности станка (например, наибольший диаметр обрабатываемой детали, наибольший диаметр инструмента, размеры стола и др.).

Прописная буква после первой цифры указывает на модернизацию (улучшение) станка. Буква, стоящая после всех цифр, обозначает модификацию (видоизменение) базовой модели станка или его технологические особенности (например, повышенную точность). Рассмотрим несколько примеров.

1. Станок 1Б140. Первая цифра 1 означает, что станок относится к токарной группе. Буква Б указывает, что станок модернизирован; вторая цифра 1 – на тип – одношпиндельный автомат; последние две цифры обозначают наибольший диаметр обрабатываемого прутка – 40 мм.

2. Станок 2150. Цифра 2 – вторая группа (сверильный); 1 – вертикальный; 50 – максимально допустимый диаметр сверла в мм.

Для обозначения моделей специализированных и специальных станков каждому станкостроительному заводу присвоен индекс из двух букв. В обозначении модели такого станка к буквам добавляются цифры, указывающие номер выпускаемого специального станка. Например, ЕЗ-9 – специальный станок для нарезания зубчатых реек, выпускаемый Егорьевским заводом зуборезных станков. Московский станкостроительный завод «Красный пролетарий» имеет индекс МК, Горьковский завод фрезерных станков – ГФ, Одесский фрезерный – ОФ.

**По универсальности и специализации** станки делят на универсальные, специализированные и специальные.

*Универсальные станки* общего назначения предназначены для выполнения различных операций при обработке деталей многих наименований.

*Специализированные станки* предназначены для обработки деталей одного наименования или немногих наименований, сходных по конфигурации, но имеющих различные размеры, например, ступенчатых валиков,

колец подшипников качения, муфт и т.п. Специализированные станки используются главным образом в серийном производстве.

*Специальные станки* служат для обработки одной определенной детали (или деталей одного типоразмера), например, лопаток газовых турбин. Станки этого рода используются в основном в массовом производстве, иногда и в крупносерийном.

**В зависимости от массы и габаритов** станки делятся на категории: легкие – массой до 10 кН; средние – от 10 до 100 кН; крупные – от 100 до 300 кН, тяжелые – от 300 кН до 1 МН и особо тяжелые (уникальные) массой более 1 МН.

Исключением из этой градации являются станки внутришлифовальные, хонинговальные и зубообрабатывающие, для которых крупные станки – от 100 до 200 кН, тяжелые – от 200 до 600 кН и особо тяжелые – более 600 кН.

**По точностным характеристикам** современные станки делятся на следующие группы: нормальной точности Н, повышенной точности П, высокой точности В, особо высокой точности А, особо точные С. На станках нормальной точности можно получить точность обработки по 7...8-му качествам.

Станки повышенной точности, как правило, изготавливаются на базе станков нормальной точности и отличаются от последних в основном более точным исполнением или подбором отдельных деталей, а также особенностями монтажа. Отклонения при обработке деталей на этих станках составляют 0,6 от отклонений, получающихся на станках нормальной точности. При обработке на станках высокой точности эти отклонения составляют 0,4, а на станках особо высокой точности – 0,25 от отклонений, получающихся при работе на станках нормальной точности. Высокая точность обработки на этих станках достигается конструктивными особенностями отдельных элементов станков, а также высокой точностью их изготовления и специальными условиями эксплуатации.

Особо точные станки изготавливаются индивидуально; отклонение по сравнению с отклонениями, получающимися на станках нормальной точности, составляет 0,16. Эти станки используются при необходимости получения наивысшей точности обработки – при изготовлении деталей типа делительных колес и дисков, эталонных колес, измерительных винтов и др.

## Глава 8. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ И ИХ СПЛАВОВ РЕЗАНИЕМ

### 8.1. Обработка сталей и чугунов резанием

Обрабатываемость металлов резанием зависит от химического состава, структуры обрабатываемого металла, его механических свойств, способности к наклепу, физических свойств (теплоемкости, теплопроводности). Большое влияние на обрабатываемость сталей и чугунов оказывает химический состав. С увеличением содержания углерода повышается механическая прочность, возрастает сопротивление резанию и ухудшается обрабатываемость. При обработке заготовки из стали с малым содержанием углерода (0,1...0,25% С) получают большую шероховатость поверхности. Повышение содержания некоторых легирующих элементов (Cr, Mo, V, W, Ti) увеличивает прочность стали и понижает теплопроводность, что ведет к ухудшению обрабатываемости. Повышенное содержание серы и свинца улучшает обрабатываемость стали. Так, стали автоматные (А12, А20 и др.) с повышенным содержанием серы (до 0,15%) обрабатываются лучше, чем малоуглеродистые стали. Свинец улучшает обрабатываемость благодаря смазывающему действию дисперсно распределенных частиц на границе зерен.

Значительное влияние на обрабатываемость сталей и чугунов оказывает структура металла. Заготовки с крупнозернистой структурой обрабатываются лучше, чем с мелкозернистой. В ряде случаев для улучшения обрабатываемости углеродосодержащие металлы подвергаются термической обработке. Пластичные сплавы обрабатываются труднее, чем менее пластичные сплавы, обладающие большей теплопроводностью и теплоемкостью – легче, так как температура резания при обработке этих сплавов ниже.

В любом случае, при обработке материалов резанием твердость режущего инструмента должна быть всегда выше, чем твердость обрабатываемого материала.

Большинство деталей из сталей и чугунов подвергаются обработке на токарных станках.

Обрабатываемость материала существенно зависит от углов заточки резца. На рисунке 7 показан проходной резец и деталь в проекции на основную плоскость:  $P_{II}$  – след плоскости резания;  $P_v$  – след плоскости, па-

раллельной основной плоскости;  $I$  – обрабатываемая поверхность;  $II$  – обработанная поверхность;  $R$  – поверхность резания. При точении основная плоскость перпендикулярна направлению вектора скорости главного движения. Как и в других случаях обработки резанием, главные углы реза ( $\gamma$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ) рассматриваются в главной секущей плоскости  $N-N$ , а вспомогательные ( $\gamma_1$ ,  $\alpha_1$ ,  $\beta_1$ ) – в плоскости  $N_1-N_1$ .

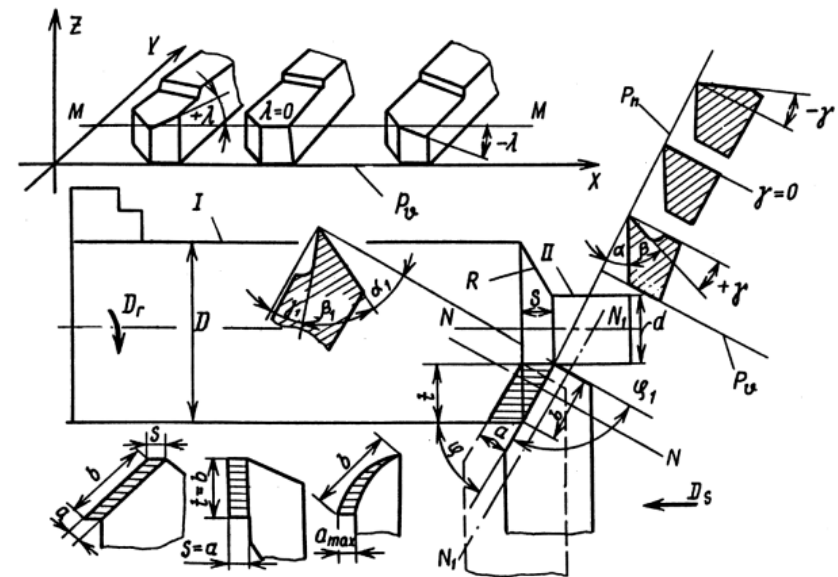


Рис. 7. Геометрические параметры проходного токарного резца

Передний угол  $\gamma$  – угол, образованный передней поверхностью лезвия и основной плоскостью.

Угол заострения  $\beta$  зависит от условий обработки, свойств материала заготовки и инструмента. Для точения твердых и прочных материалов применяются резцы с большими углами  $\beta$  (увеличивается прочность режущей части). Для обеспечения высокой производительности и экономичности обработки необходимо выбирать, оптимальные значения углов  $\beta$  и  $\gamma$ . Главный задний угол  $\alpha$ , для различных типов токарных резцов изменяется от 5 до 15°. Углы заострения  $\beta$  определяются из соотношения  $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$ . Главный угол в плане  $\phi$  и вспомогательный угол  $\phi_1$  – это углы, измеряемые в горизонтальной координатной плоскости  $XU$  (см. рис. 7) между проекциями на нее вектора скорости продольной подачи и проекциями главной и вспомогательной режущих кромок. Угол при вершине  $\epsilon$



– угол между проекциями главной и вспомогательной режущих кромок на горизонтальную (основную) плоскость;  $\epsilon=180^\circ - (\varphi+\varphi_1)$ . Угол  $\varphi$  определяет форму площади среза и распределение нагрузки на инструмент.

В процессе точения значения углов  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  изменяются в зависимости от установки резца относительно оси вращения детали (выше или ниже ее).

Для токарных и расточных резцов, предназначенных для обработки деталей из стали и чугуна, величина передних и задних углов назначается в пределах, указанных в табл. 38.

Главный угол в плане  $\varphi$  при постоянных значениях подачи и глубины резания  $t$  определяет соотношение между шириной и толщиной среза: при уменьшении угла  $\varphi$  уменьшается толщина среза и увеличивается его ширина. Увеличение активной длины режущей кромки, т. е. той части, которая находится в непосредственном соприкосновении с обрабатываемой заготовкой, приводит к уменьшению температуры в зоне резания, что снижает износ резца и повышает его стойкость. Однако при обработке нежестких деталей (например, длинных валиков) рекомендуется применять углы  $\varphi=60...75^\circ$ , так как при меньших углах возможно появление вибрации и недопустимых прогибов заготовки (табл. 39).

Таблица 38

Передние и задние углы токарных и расточных резцов

Обрабатываемый материал	Материал лезвийного инструмента					
	Сталь быст-ро-режущая	Твердый сплав	Сталь быстро-режущая		Твердый сплав	
			Обработка			
			чер-новая	чисто-вая	черно-вая	чисто-вая
Передний угол $\gamma$ , град		Задний угол $\alpha$ , град				
Сталь конструкционная	25	12...15	6	12	8	12
Сталь легированная	20	10	6	12	8	12
Стальное литье	–	10	–	–	8	12
Сталь жаропрочная	20	10	8	8	10	10
Чугун серый	–	5	–	–	8	10
Чугун ковкий	–	8	–	–	8	10

Главный угол в плане  $\varphi$  при постоянных значениях подачи и глубины резания  $t$  определяет соотношение между шириной и толщиной среза: при уменьшении угла  $\varphi$  уменьшается толщина среза и увеличивается его ширина. Увеличение активной длины режущей кромки, т. е. той части, которая находится в непосредственном соприкосновении с обрабатываемой заготовкой, приводит к уменьшению температуры в зоне резания, что снижает износ резца и повышает его стойкость. Однако при обработке нежестких деталей (например, длинных валиков) рекомендуется применять углы  $\varphi=60...75^\circ$ , так как при меньших углах возможно появление вибрации и недопустимых прогибов заготовки (табл. 39).

Таблица 39

Главный угол в плане  $\varphi$  токарных и расточных резцов

Назначение и условия работ резца	Угол $\varphi$ , град
Точение с малой глубиной резания при особо жесткой системе	30
Растачивание стальной детали, точение при малой жесткости системы	60
Растачивание чугунной детали, точение при малой жесткости системы	70...75
Подрезка, прорезка, обточка и расточка ступенчатых поверхностей в упор; обработка в условиях нежесткой системы	90
Точение в условиях жесткой системы	45

Вспомогательный угол в плане  $\varphi'$  влияет на шероховатость обработанной поверхности, прочность вершины резца и его стойкость. При применении больших подач на детали появляются значительные остаточные гребешки. Для уменьшения их высоты применяют малые значения углов  $\varphi'$ , обычно в пределах  $10...15^\circ$  (табл. 40).

Таблица 40

Вспомогательный угол в плане  $\varphi'$

Условия работы резца	Угол $\varphi'$ , град
Чистовая обработка	5...10
Черновое точение	10...15
Черновое растачивание	15...20
Обработка с подачей в обе стороны без перестановки резца	30

Обработка широкими резцами или резцами с дополнительным режущим лезвием

0

Значительное влияние на процесс точения оказывает угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$  – угол между главной режущей кромкой и плоскостью  $M-M$ , проведенной через вершину режущей части резца параллельно горизонтальной координатной плоскости  $P_v$ .

Принято считать угол  $\lambda$  положительным, если вершина резца – низшая точка режущей кромки. Значение и знак угла  $\lambda$  влияет на направление схода стружки и распределение нагрузки по длине режущей кромки. Для обдирочных работ применяются положительные углы  $\lambda$  (до  $+60^\circ$ ), при этом стружка направляется к обработанной поверхности, возможно ее наматывание на деталь и царапание поверхности детали. Поэтому для чистовой обработки применяют резцы с отрицательными углами  $\lambda$  (до  $-5^\circ$ ). При прерывистом точении применяют резцы с  $\lambda=+10\dots+25^\circ$  и  $\gamma=-5\dots-10^\circ$ .

Большое количество различных технологических операций, выполняемых на токарных станках, обуславливает многообразие конструкций применяющихся резцов.

Резцы подразделяются по назначению, направлению движения, форме режущей части и по конструкции. По назначению (рис. 8) : проходные 6, 8 и проходные упорные 4, подрезные 1, отрезные и прорезные 5, расточные 10, 9, фасонные 2, резьбовые 7, резцы для чистовой обработки 3 и др.

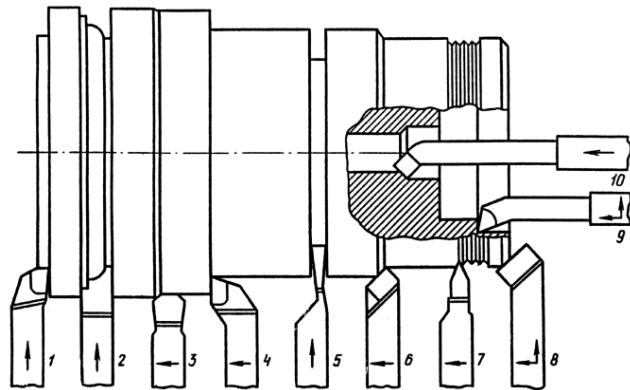


Рис. 8. Основные типы токарных резцов

По направлению движения: правые 6 и левые, радиальные и тангенциальные.

По форме головки (режущей части) : прямые 6, 3, отогнутые 1, 4, 8, 9, 10, оттянутые 5, 7 и изогнутые.

По конструкции: цельные и сборные (сложной конструкции с различными способами крепления режущих пластинок) и резцовые блоки.

Цельные резцы изготавливаются из быстрорежущей стали (реже из легированных сталей), сборные – оснащаются пластинками из быстрорежущих сталей твердых сплавов, минералокерамики, а также из СТМ (поликристаллические синтетические алмазы или нитриды бора). Типы конструкции резцов выбираются с учетом комплекса технологических и экономических показателей (характера операции, свойств материалов, геометрических параметров инструмента, особенностей заточки и др.).

Форма передней поверхности резцов из быстрорежущей стали после заточки имеет четыре разновидности (рис. 9) :

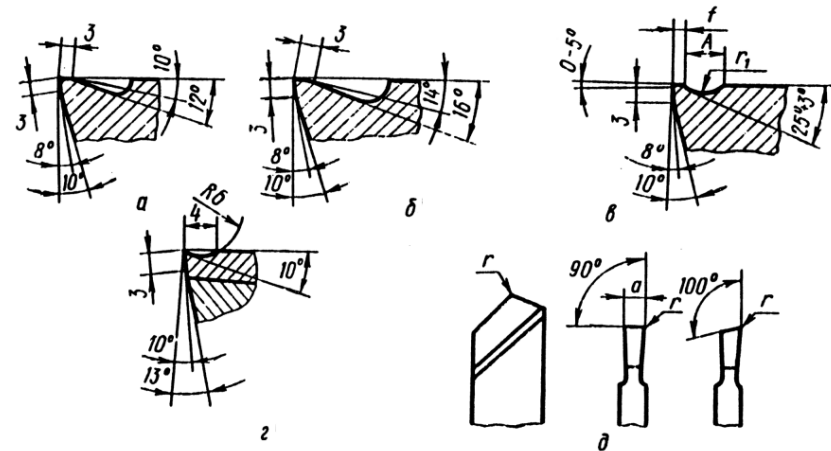


Рис. 9. Формы передней поверхности резцов из быстрорежущей стали

- плоская, с положительным передним углом  $\gamma=10^\circ$  для обработки стали с  $\sigma_b > 800 \text{ Н/мм}^2$ , серого чугуна  $\text{HB} > 220$ , бронзы и других хрупких материалов (рис. 9, а);

- плоская, с положительным передним углом  $\gamma=14^\circ$  для обработки стали с  $\sigma_b < 800 \text{ Н/мм}^2$ , чугуна  $\text{HB} < 220$  (рис. 9, б);

- криволинейная, с фаской для обработки стали с  $\sigma_b < 800 \text{ Н/мм}^2$ , вязких цветных металлов и легких сплавов при необходимости завивания стружки (рис. 9, в);

- криволинейная для обработки материалов с  $\sigma_b = 800 \dots 1000 \text{ Н/мм}^2$  (рис. 9, з).

Ширина фаски  $f$  (мм) (рис. 9, в) затачивается в пределах:

- для токарных проходных и подрезных резцов –  $0,2 \dots 1,5$ ;
- для токарных расточных резцов –  $0,1 \dots 0,6$ ;
- для токарных отрезных и прорезных резцов –  $0,15 \dots 0,5$ .

Радиусная канавка (рис. 10, в) выполняется радиусом  $r = 3 \dots 18 \text{ мм}$ , шириной  $A$  от 2,5 до 15 мм. Радиус  $r$  вершины резца (рис. 9) назначают от 0,2 до 3 мм. Меньшие значения указанных параметров относятся к резцам с державкой сечением до  $10 \times 10 \text{ мм}$ , большие значения – к резцам сечением  $40 \times 40 \text{ мм}$ .

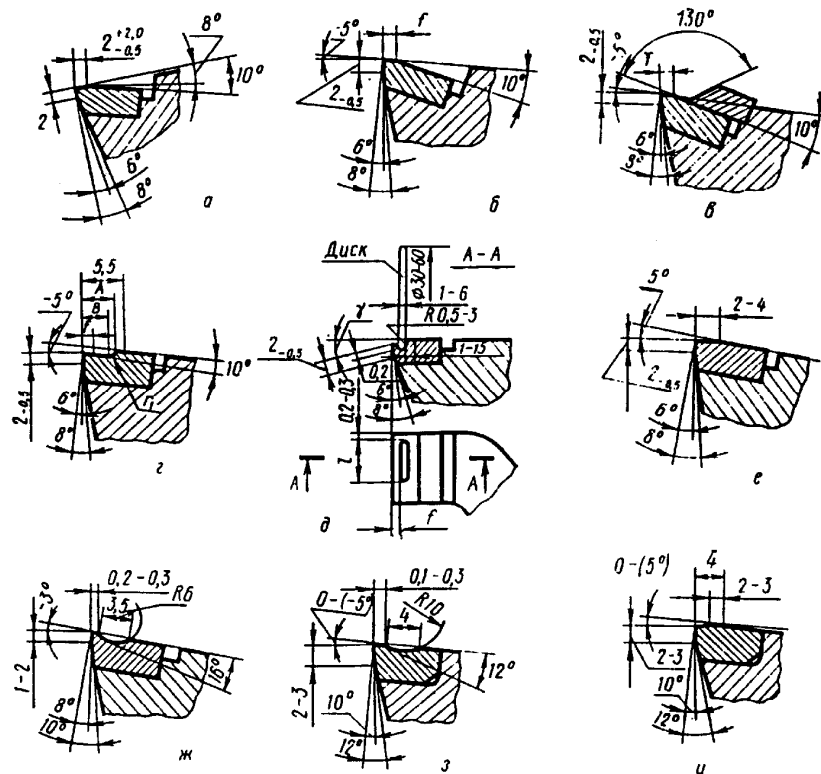


Рис. 10. Формы передней поверхности резцов с твердосплавной пластиной

Форма заточки передней поверхности резцов с пластинками из твердого сплава имеет большое число разновидностей:

- плоская, с положительным передним углом для обработки серого чугуна, бронзы и других хрупких материалов (рис. 10, а);
- плоская, с отрицательной фаской для обработки ковкого чугуна, стали и стального литья с  $\sigma_b < 800 \text{ Н/мм}^2$  (рис. 10, б и в);
- криволинейная, с отрицательной фаской для обработки стали с  $\sigma_b < 800 \text{ Н/мм}^2$  при необходимости завивания и дробления стружки (рис. 10, г, д);
- плоская, с отрицательным передним углом для черновой обработки стали и стального литья с  $\sigma_b > 800 \text{ Н/мм}^2$  или при точении с ударами в условиях жесткой технологической системы (рис. 10, е);
- криволинейная, с отрицательной фаской для обработки нержавеющей сталей с  $\sigma_b \leq 850 \text{ Н/мм}^2$  (рис. 10, ж);
- криволинейная, с отрицательной фаской для обработки материалов с  $\sigma_b$  до  $1300 \text{ Н/мм}^2$  (рис. 10, з);
- плоская, с отрицательным передним углом для обработки материалов с  $\sigma_b \geq 1200 \text{ Н/мм}^2$  (рис. 10, и).

Ширина фаски  $f$  выполняется в пределах  $0,1 \dots 0,6 \text{ мм}$  для расточных, отрезных и прорезных резцов и в пределах от  $0,15$  до  $1,2 \text{ мм}$  для проходных и подрезных резцов. Радиус вершины  $r$  назначают в пределах от  $0,5$  до  $2,5 \text{ мм}$  у проходных и подрезных резцов и от  $0,5$  до  $1,6 \text{ мм}$  у расточных резцов (рис. 10, д).

На передней поверхности для облегчения отвода сливной стружки, ее завивания или ломания иногда выполняют крупноразмерные с радиусом  $4 \dots 18 \text{ мм}$  или мелкоразмерные с радиусом  $0,5 \dots 3 \text{ мм}$  лунки, порошки, уступы.

Стружка завивается тем круче, чем меньше радиус  $R$  выкружки лунки и чем ближе она расположена к режущей кромке. Мелкоразмерная лунка имеет небольшую ширину (не более  $3 \text{ мм}$ ) и глубину до  $0,1 \dots 0,5 \text{ мм}$ , может быть замкнутой или незамкнутой с выходом в обе стороны (отрезные резцы) или в одну сторону.

Крупноразмерные лунки делают на твердосплавных и быстрорежущих резцах шириной от  $3$  до  $15 \text{ мм}$  глубиной до  $1,5 \text{ мм}$ .

## 8.2. Обработка алюминия и его сплавов резанием

Обработка алюминия по сравнению со сталью характеризуется значительно высокой скоростью при равной стойкости инструмента. Вследствие сравнительного высокого коэффициента трения между алюминием и сталью при низких скоростях резания, даже при соблюдении рекомендуемых углов резания, на режущей кромке инструмента может образоваться нарост, который, помимо всего прочего, значительно ухудшает качество поверхности. Поэтому алюминий должен обрабатываться резанием со скоростями не ниже 90 м/мин. Исключением являются ручные работы, протяжка, сверление, зенкерование и нарезание резьбы.

Чистый алюминий и сплавы в отожженном состоянии дают длинную вязкую стружку, удаление которой из-за большого ее объема (обусловленного высокой скоростью резания) иногда бывает затруднительно. Нестареющие сплавы в нагартованном состоянии и состаренные сплавы хорошо обрабатываются резанием, но тоже дают длинную стружку. С использованием стружкоотводящей ступеньки или стружкозавивательных приспособлений может быть также получена стружка в виде коротких витков.

Для обточки на автоматических станках разработаны сплавы с добавкой свинца, которые дают короткую сыпучую стружку. Аналогичной формы стружка образуется также при обработке сплава AlMg5 в полунагартованном или нагартованном состоянии, который используется преимущественно на предприятиях по выпуску оптики и точной механики, поскольку он лучше поддается декоративному анодированию, чем материалы с добавкой свинца.

Литейные сплавы обладают в основном такой же обрабатываемостью резанием, как и деформируемые одинакового химического состава. Они лишь дают, как и большинство литейных сплавов, более короткую стружку.

Показателем обрабатываемости резанием литейных сплавов служит содержание кремния, повышенная твердость соединений которого может отрицательно сказаться на стойкости инструмента.

В зависимости от состава и состояния или прочности при обработке резанием алюминия выделяют три группы материалов (табл. 41).

Таблица 41

**Группы материалов, классифицируемых по обрабатываемости резанием**

Материал	Состояние	Твердость HB
----------	-----------	--------------

*Группа 1. Нестареющие деформируемые сплавы, стареющие деформируемые сплавы в отожженном состоянии*

Чистый алюминий и алюминий, повышенной чистоты AlMg0,5...AlRMg1 Al199,9Mg0,5... ...Al199,9Mg1 AlMg1 AlMn AlMgMn, AlMg4,5Mn AlMg сплавы, 2...5% Mg Стареющие деформируемые сплавы	Любое « « « « « « Тянутое, пресованное, катанное отожженное	15...38 23...50 30...50 25...40 45...75 35...90 35...90
--	--	---

*Группа 2. состаренные деформируемые сплавы и литейные сплавы с содержанием Si < 10%*

Деформируемые сплавы AlMgSi0,5, AlMgSi0,8, AlMgSi1 AlCuMg1, AlCuMg2 AlZnMg1  AlZnMgCu0,5, AlZnMgCu1,5	Естественно и искусственно состаренное  Естественно состаренное Искусственно состаренное  То же	45...95  90...125 80...125  120...140
--	--	--

Окончание табл. 41

Материал	Состояние	Твердость HB
AlMgSiPb, AlCuBiPb, AlCuMgPb AlMg3...AlMg10, AlSi5Mg, AlSi6Cu4, AlSi8Cu3 AlMg9, AlCu4TiMg, AlSi7Mg	Естественно и искусственно состаренное  От необработанного до искусственно состаренного  От частично термоупрочненного до искусственно состаренного	60...110  55...110  70...130

*Группа 3. Литейные сплавы с 10% Si*

AlSiMg9	Искусственно состаренное	75...115
AlSi10Mg (включая варианты с медью)	От необработанного до искусственно состаренного	50...115
AlSi12	Необработанное	45...80

Поршневые сплавы  
AlSiCuNi (12...25% Si)

Специально термообра-  
ботанное

90...140

Стружка алюминиевых сплавов не является пожароопасной. Рекомендуется, по возможности, сортировать стружку и отходы по сплавам, поскольку при этом можно достичь большей экономичности производства.

Для экономичной обработки резанием алюминия требуется, чтобы инструмент имел большой передний угол и большую выемку для выхода стружки. Передние его грани должны подвергаться тонкому шлифованию или, что еще лучше, притирке, чтобы трение между инструментом и образующейся стружкой поддерживать по возможности минимальным. Высокая скорость резания, большой передний угол и гладкая передняя грань препятствуют в совокупности с действием смазки и охлаждения (при остром инструменте) образованию нароста, из-за которого может получаться неровная, с задирами поверхность обработки.

Износ инструмента проявляется в виде усиливающегося затупления режущей кромки, обусловленного ее смещением. Лункообразный износ при обработке резанием алюминия в общем случае не наблюдается. В результате износа на передней грани образуется слегка скругленная фаска с отрицательным передним углом резца (около  $15^\circ$ ). С развивающимся затуплением сильно возрастает усилие резания и температура резания из-за затрудненных условий схода образующейся стружки, так что частицы обрабатываемого материала в виде сплошной массы могут выдавливать вдоль задней грани резца, где они перед окончательным формообразованием свариваются в так называемую ложную стружку, прочно пристающую к задней поверхности инструмента.

Материал для режущего инструмента определяют, исходя из конкретных условий резания. Для обработки резанием алюминия используют преимущественно быстрорежущие (БРС) и твердые сплавы (ТС), а наряду с ними для тонкой обработки – и алмазы. Минералокерамические материалы, содержащие окислы, до сих пор не могут применяться для обработки резанием алюминия, поскольку между пластинкой и обрабатываемым материалом может произойти реакция (из-за большого сродства алюминия к кислороду), приводящая в негодность режущий материал.

Инструментальная сталь применяется только для сверления и развертывания малых диаметров, в единичных случаях – для обработки деформируемых материалов.

Быстрорежущая сталь хорошо подходит для резания сплавов с большим содержанием кремния. Если требуются большие мощности резания, то быстрорежущая сталь может стать более экономичной, чем твердые сплавы, особенно в том случае, когда на данных станках нельзя достичь скоростей резания, применяемых при работе с твердыми сплавами. Высокая вязкость делает возможным применять инструмент с большими передними углами также при прерывистом резании. Параметры токарной обработки алюминия приведены в табл. 42.

Соблюдение рекомендуемых углов резания имеет очень большое значение для достижения высокой чистоты поверхности и высокой стойкости резца. Поэтому инструмент должен подвергаться механическому шлифованию. Риски и грат после шлифования следует удалять доводкой или притиркой.

Меньшая по сравнению со сталью твердость делает алюминий более чувствительным к образованию рисок, надрезов и вмятин при закреплении детали. Поэтому желательно оснастить зажимные устройства защитными прокладками, а зажимные патроны – расточными мягкими кулачками. По возможности следует для закрепления применять тиски с гладкими губками, цинковые патроны или разжимные оправки.

Фрезы для обработки алюминия отличаются от фрез для обработки стали большим расстоянием между зубьями и большей выемкой для выхода стружки.

Плоские поверхности только в редких случаях обрабатываются цилиндрическими фрезами, а чаще – торцовыми со вставными ножами; диаметр фрез подбирается таким, чтобы на станках для обработки стали (предполагая достаточную жесткость и мощность привода) можно было достичь высокой скорости резания.

По взаимному расположению обрабатываемой поверхности и оси оправки можно разделить фрезы на цилиндрические и торцовые. При фрезеровании торцовыми фрезами (фрезерными головками или цельными торцовыми фрезами) стремятся, чтобы диаметр фрезы превышал по меньшей мере на 1/5 ширину обрабатываемой детали, причем 2/3 ширины следует фрезеровать против подачи и 1/3 – по подаче. При фрезеровании цилиндрическими фрезами (простыми цилиндрическими, концевыми, дисковыми или фасонными фрезами) предпочитают фрезерование по подаче. Предпосылкой для достижения безупречной поверхности является, возможно, более полное удаление люфтов в опорах ходового винта подачи, а также между ходовым винтом и гайкой.

При фрезеровании алюминия следует придерживаться следующих режимов: передний угол  $\alpha=30...15^\circ$  (меньшие передние углы при черновом фрезеровании, большие – при чистовом); задний угол  $\alpha=18...6^\circ$  (то же, что и угол  $\gamma$ ); скорость резания для БРС составляет 100...600 м/мин (меньшие значения для 3-й группы обрабатываемого материала), для ТС – 300...2500 м/мин (то же, что и БРС); подача на зуб фрезы 0,1...0,5 мм/зуб; глубина резания 0,5...6 мм.

Для сверления алюминия и его сплавов применяют спиральные сверла. Диаметр отверстия, особенно при сверлении мягких сортов алюминия, получается значительно больше диаметра сверла. Поэтому диаметр сверла берут на 0,2...0,5 мм меньше диаметра отверстия. Параметры резания при сверлении приведены в таблице 43.

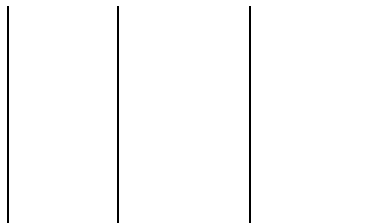
Основные параметры сверления алюминия

Параметры	Режущий материал	Группа обрабатываемого материала			Примечания
		1	2	3	
Угол при вершине сверла $\alpha^\circ$	БРС ТС	140 130	120 120	100 115	При сверлении листов угол увеличивается или применяется центровое сверло
Угол наклона винтовой канавки (передний угол) $\gamma^\circ$	БРС ТС	45...30 15...10	35...20 15...10	25...15 8...4	Применяются сверла малого диаметра с меньшим углом наклона винтовой канавки
Задний угол заточки (задний угол) $\alpha^\circ$	БРС ТС	17...15 12	15 12	12 12	При заправке сверл с двойной заточкой сохранять заданный угол на каждой ступени режущей части
Скорость резания $v$ , м/мин	БРС ТС	100...200 200...300	80...100 100...140	50...80 60...100	Меньшие скорости для сверл малого диаметра
Подача $s$ , мм/об	БРС ТС	0,02...0,50 0,06...0,30	0,02...0,50 0,06...0,30	0,02...0,3 0,03...0,15	То же

Окончание табл. 43

Параметры	Режущий материал	Группа обрабатываемого материала			Примечания
		1	2	3	
Смазочно-охлаждающие мате-	БРС ТС	Эмульсия Сухое	Эмульсия Сухое/ эмульсия	Эмульсия Сухое/ эмульсия	Вместо эмульсии также применяются рас-

риалы



творимые в воде синтетические смазки. А при сверлении на месте – также и консистентные жиры

Спиральные зенкеры (трехзубые) и насадные (четырёхзубые) служат для расширения предварительно просверленных или полученных при литье отверстий, часто с применением кондукторных втулок.

Отверстия, обработанные зенкером, имеют меньшую овальность, чем полученные спиральным сверлом, поэтому при получении отверстий с низкими допусками по диаметру с помощью разверток предварительно их обрабатывают зенкером, оставляя припуск. Параметры зенкерования те же, что и при сверлении алюминия за исключением скорости резания, которая составляет 25...10 м/мин.

Для развертывания отверстий в деталях из алюминия могут использоваться развертки всех типов, которые применяются для обработки стальных деталей.

Резка дисковыми пилами ведется главным образом для разделения на мерные длины прутков, штанг, профилей и труб, а также для получения узких пазов. Особую разновидность представляет собой горячая резка непрерывно прессуемого изделия после выхода его из пресса (температура изделий 300...400°C).

Резка дисковой пилой сравнима с фрезерованием дисковыми фрезами. Шаг  $t$  зависит от сечения пилы, которое является важнейшим показателем для пил очень малого диаметра. Он должен выбираться таким, чтобы обеспечить достаточно большое и скругленное пространство для выхода стружки (рис. 11).

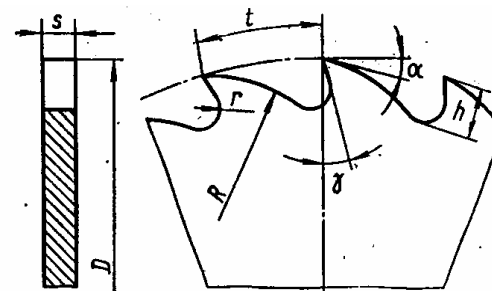


Рис. 11. Углы и формы зубьев дисковой пилы (при шаге  $t=5...10$  мм,  $h=4...5$  мм,  $s=1...3$  мм; при шаге  $t=9...20$  мм,  $h=5...8$  мм,  $s=1...3$  мм; при шаге  $t < 60$  мм,  $h < 25$  мм,  $s < 6$  мм)

Полотно пил диаметром до 250 мм изготавливается полностью из быстрорежущей стали и с каждой стороны утоняется шлифовкой к центру для предупреждения защемления при резке. Пилы большего размера состоят из стального закаленного диска из листовой стали, оснащенного приклепанными сегментами из быстрорежущей стали или припаянными, а также механически закрепленными ножами из твердых сплавов.

Резка ленточными пилами чаще всего ведется при небольших сечениях изделий, а также для получения сквозных отверстий и контуров на листовом материале толщиной примерно от 6 мм. Шаг зубьев нормализован – 4...12 мм. Для тонкого листа еще меньше, поскольку в разрезаемом сечении должны одновременно резать не менее двух зубьев.

Ножовочные пилы применяют лишь для единичных случаев резки алюминия, так как скорость резки слишком мала. Для ручной резки следует использовать по возможности полотна с большим выемом у зубьев, где стружка может скручиваться.

Плашки и резьбонарезные головки на состаренных сплавах дают безупречную по качеству резьбу. Заборную часть следует несколько удлинить по сравнению с обработкой стали. Очень важно обеспечить достаточный подвод смазочно-охлаждающей жидкости при длинной резьбе. Наружный диаметр детали после обточки должен быть меньше номинального диаметра резьбы на  $0,2...0,3 t$ , где  $t$  – шаг резьбы. Следует обратить особое внимание на соосность детали и инструмента.

Метчики для ручной нарезки резьбы на алюминии применяют в комплекте, включающем два или три метчика. Для машинной – также в комплекте или один метчик. Они должны иметь широкие, хорошо закруглен-

ные полированные канавки для выхода стружки и большой передний угол. Обратная сторона режущего инструмента должна выполняться по радиусу или иметь подрез, чтобы при обратном ходе метчика стружка не вдавливалась в резьбу.

Токарный, сверлильный и фрезерный инструмент с алмазами применяется преимущественно для точной чистовой обработки при серийном производстве алюминиевых деталей, когда требуется как высокая точность соблюдения размеров, так и высокое качество поверхности. Необходимая предварительная обработка ведется чаще всего твердосплавным инструментом.

Особое преимущество резки алмазным инструментом – высокая стойкость (даже при обработке высококремнистых сплавов, например, при изготовлении поршней двигателей внутреннего сгорания).

### 8.3. Обработка титана и его сплавов резанием

Наибольшие трудности при обработке титановых сплавов резанием возникают при черновой обработке заготовок (штамповок, поковок, прутков), так как при этом удаляется поверхностный дефектный слой, состоящий из окалины и корки, образующихся в результате взаимодействия титана с кислородом и азотом воздуха, и отличающийся весьма высокой твердостью и альфированной структурой.

С целью повышения эффективности черновой операции, обычно выполняемой точением или фрезерованием, рекомендуется предварительно удалять окалину и корку специальной обработкой.

Заготовки (прутки, поковки, штамповки) титановых сплавов обдувают песком до удаления окалины, о чем свидетельствует матовый светло-серый цвет их поверхности (бурые пятна и оттенки не допускаются), и подвергают травлению при температуре 20...30°C в водном растворе, содержащем 16% азотной и 5% фтористо-водородной кислот, а затем промывают в воде. Продолжительность травления определяется по виду заготовок: поверхность их должна иметь глянцевый металлический блеск. Регулирование процесса травления по времени достигается изменением содержания в ванне фтористо-водородной кислоты, увеличение которой ускоряет травление. Указанная обработка поверхности полуфабрикатов существенно облегчает последующую черновую обработку, увеличивая стойкость резца с пластинкой из сплава ВК8 примерно в 3 раза.

Решающим условием обеспечения стойкости инструмента является такое проведение обработки, при которой вершина режущего лезвия осуществляет резание только под коркой. Это достигается снятием фаски с торца заготовки перед началом точения и установлением достаточной глубины резания; в случае наличия биения (из-за неровностей на поверхности заготовки) допускаются значительные колебания глубины резания при минимальном ее значении 0,5 мм. Фаска снимается другим или тем же резцом, участком его режущей кромки, не работающим при выполнении основного прохода. При обдирке корки на крупных заготовках (типа валов, слитков) не исключена возможность применения предварительного подогрева обрабатываемой поверхности т. в. ч. Индуктор установки при обработке должен перемещаться вместе с резцом, располагаясь впереди него на некотором расстоянии. Необходимым условием является обеспечение соответствующей температуры срезаемого слоя, достаточной для локализации вредного воздействия корки на контактные поверхности инструмента, но не приводящей его к потере режущих свойств. Предварительный подогрев можно применять только при черновой обработке (при обдирке корки), после которой непременно следует чистовая обработка.

Прежде чем перейти к изложению рациональных условий выполнения основных видов механической обработки титановых сплавов, следует отметить необходимость соблюдения мер техники безопасности при обработке этих материалов. Такая предосторожность связана с опасностью воспламенения и интенсивного горения стружки сплавов титана, например, при точении с малыми сечениями среза ( $t \cdot S = 0,05 \times 0,07$  мм) на достаточно высоких скоростях, а также взрывоопасностью пыли, образующейся при выполнении некоторых видов обработки (например, при шлифовании). В связи с этим при осуществлении чистовых токарных и фрезерных операций следует избегать снятия малого припуска (порядка 0,05...0,1 мм) и высоких скоростей резания (более 150 м/мин), а при шлифовании подавать в зону резания смазочно-охлаждающую жидкость в обильном количестве (не менее 25 л/мин).

Следует иметь в виду, что пыль титановых сплавов может взрываться и воспламеняться не только при обработке, но и при хранении.

Разрезка заготовок из титановых сплавов, осуществляемая обычно абразивными кругами, лезвийным инструментом представляет значительные трудности, связанные как с интенсивным износом инструмента, так и невысокой (а в ряде случаев даже с низкой) производительностью.



Черновое точение (по корке). Резцы оснащают пластинками из твердых сплавов ВК12Та, ВК8Та, ВК8. Геометрия режущей части резца: фаска вдоль главной режущей кромки  $f=0,5...0,7$  мм; передний угол на фаске  $\gamma=0...-5^\circ$ , на остальной части передней поверхности  $\gamma=8...10^\circ$ , задние углы  $\alpha= \alpha_1=15^\circ$ ; углы в плане  $\varphi=45^\circ$ ,  $\varphi_1=15^\circ$ ; радиус при вершине  $R=0,6...0,8$  мм; угол наклона главной режущей кромки  $\lambda=0...5^\circ$ . Параметры режима резания:  $V=7...25$  м/мин;  $S=0,25...0,40$  мм/об;  $t=2...8$  мм.

Меньшие из указанных значений скорости резания и подачи рекомендуется для точения  $\beta$ -сплавов (ВТ15), большие – для обработки  $\alpha$  и  $(\alpha+\beta)$ -сплавов. При выполнении данной операции следует применять в качестве смазочно-охлаждающей жидкости эмульсию стандартного состава, подаваемую непрерывно и обильно обычным способом (поливом).

При получистовом непрерывном точении применяются резцы, оснащенные пластинками из твердых сплавов ВК4, ВК6, ВК6М, ВК8, ВК8Та, ВК12Та, а при чистовом – резцы с пластинками из сплавов ВК2, ВК4, ВК6М, ВК6, ВК8, ВК8Та. Геометрические параметры отличаются от приведенных для чернового точения лишь величинами переднего угла на фаске и угла наклона главной режущей кромки, которые принимаются равными соответственно  $\gamma=0...5^\circ$  и  $\lambda=0^\circ$ . При непрерывном точении резцами, оснащенными пластинками из твердых сплавов указанных марок, в зависимости от технологических требований и структуры сплава обрабатываемой заготовки принимаются следующие режимы резания:  $V=20...100$  м/мин;  $S=0,1...0,2$  мм/об;  $t=0,3...1,0$  мм.

Фрезерование следует производить торцовыми насадными фрезами со вставными ножами, оснащенными пластинками из твердого сплава ВК8.

Для черновой обработки применяют также концевые и дисковые фрезы. Рекомендуемые режимы резания:  $V=10...30$  м/мин;  $S=0,05...0,1$  мм/об;  $t=1,5...5$  мм.

Для сверления отверстий диаметром от 2 до 6 мм следует применять специальные сверла со спиральной цельнопрессованной рабочей частью из твердых сплавов ВК8, ВК10М, ВК15М, закрепленной в державке путем пайки или запрессовки. Шлифование рабочей части сверл и их заточка должны производиться алмазными кругами (АС12, АС3, Б1, Б2). Такими сверлами успешно обрабатывают отверстия значительной глубины ( $L>12D$ ) в титановых сплавах. По скорости и стойкости они превосходят сверла

из лучших марок быстрорежущей стали (ВНИИ-1, Р10К5Ф5, Р14Ф4, Р9К10 и др.).

Сверление отверстий большого диаметра (от 6 до 30 мм) следует производить спиральными сверлами, оснащенными пластинкой из твердого сплава ВК8. В зависимости от глубины отверстия применяются длинные или укороченные сверла. Для сверления очень мелких отверстий диаметром менее 2 мм используются быстрорежущие сверла.

В зависимости от условий сверления (глубины отверстия, его диаметра, расположения на детали и пр.) возможно применение ручной подачи.

При сверлении глубоких отверстий необходимо периодически выводить сверло из отверстия для очистки от стружки и охлаждения. Во избежание наклепа и связанного с ним значительного затруднения сверления не следует оставлять сверло в отверстии без подачи и допускать трение его кромок о дно отверстия.

Критерием затупления сверла следует считать износ на уголках задних поверхностей, равный 0,4...0,5 мм. При сверлении быстрорежущими и твердосплавными сверлами необходимо применение смазочно-охлаждающих жидкостей.

Нарезание резьбы при изготовлении деталей из титановых сплавов обычно осуществляется лезвийным (металлическим) инструментом. Наибольшее применение получили резцы и метчики. Использование плашек практически не представляется возможным из-за сложных условий резания.

Резьбошлифование является весьма трудоемким процессом, не гарантирующим требуемого качества поверхностного слоя, так как возникают прижоги, очаги охрупчивания и т.п.

Положительные результаты дает применение накатных роликов для получения резьбы на деталях из титановых сплавов.

#### 8.4. Обработка магния и его сплавов резанием

Для обработки сплавов магния обычно используются инструменты из быстрорежущей стали. Для успешного резания очень важно устранить налипания на рабочих поверхностях инструмента. Поэтому режущие границы инструмента должны быть тщательно доведены алмазной доводкой.

Для продолжительного резания и обдирки заготовок, отлитых в песчаных формах, предпочтительней применение инструментов, оснащенных

твердыми сплавами. Особенно хорошие результаты при чистовой обработке получаются, если применяется алмазный инструмент.

Токарную обработку сплавов ведут на максимально возможных скоростях, поскольку отвод стружки не представляет трудностей. При окончательной обточке можно снимать стружку с сечением на 50...100% большим, чем при такой же обработке изделий из конструкционной стали. Рекомендуемые режимы токарной обработки приведены в табл. 44.

Таблица 44

**Режимы резания при обточке и расточке магниевых сплавов**

Операция	Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об	Глубина резания, мм
Предварительная	90...180	0,75...2,5	1,25
	180...300	0,5...2,0	1,0
	300...450	0,25...1,5	0,75
	450...600	0,25...1,0	0,5
	600...1500	0,25...0,75	0,375
Окончательная	90...180	0,125...0,625	2,5
	180...300	0,125...0,5	2,0
	300...450	0,075...0,375	1,25
	450...600	0,075...0,375	1,25
	600...1500	0,075...0,375	1,25

При использовании твердосплавных резцов передний угол должен составлять 3...5° (иногда его доводят до значений 15...20°, что позволяет снизить затрачиваемую мощность). Передняя грань резца должна быть полированной и плавно переходить в державку, чтобы не было препятствий для схода стружки. В комбинированном проходном подрезном резце главный задний угол принимают 10°, а дополнительный – 7...10°.

Точение можно вести всухую. При расточке длинных отверстий необходимо сдувать стружку струей сжатого воздуха, подводимого к передней грани резца через полую державку.

В магниевых сплавах можно сверлить неглубокие отверстия, желательно применять спиральные сверла с хорошо отполированными режущими гранями и канавками, угол заточки должен составлять  $2\varphi=100...140^\circ$ . При сверлении возможен уход сверла с оси, поэтому требу-

ется применение охлаждающей жидкости или воздуха. Режимы резания при сверлении необходимо выбирать из табл. 45.

Таблица 45

**Режимы резания при сверлении магниевых сплавов**

Диаметр сверла, мм	Скорость резания, м/мин	Подача, мм	
		Отверстие	
		неглубокое	глубокое
6	90...600	0,1...0,76	0,1...0,2
12	90...600	0,38...1,0	0,3...0,5
25	90...600	0,5...1,2	0,38...0,75

Для развертывания отверстий применяют развертки с малым числом зубьев и отрицательным углом наклона спирали. Это препятствует самозатягиванию развертки в обрабатываемое отверстие. Вдоль режущей кромки зуба развертки должна быть полированная ленточка шириной не более 0,375 мм. Диаметр развертки должен быть полнее на 0,0125...0,0375 мм, что компенсирует усадку после прохода инструмента.

Нарезание внутренних резьб производят метчиками с полированными канавками и профилем. Размер профиля должен быть полнее на 0,1 мм. Резьбы нарезают всухую или со смазкой (минеральное масло или парафин).

## 8.5. Обработка тугоплавких материалов резанием

По обрабатываемости резанием тугоплавкие материалы разделяются на три группы: 1-я – вольфрам и его сплавы; 2-я – молибден, хром и их сплавы; 3-я – ниобий, тантал, ванадий.

Вольфрам является наиболее тугоплавким материалом, наряду с этим он и его сплавы обладают высокой механической прочностью и твердостью; предел прочности на растяжение доходит до 1400 МН/м<sup>2</sup> и твердость – до НВ 490.

Вольфрам плохо поддается обработке резанием; это объясняется его исключительно высокими хрупкостью, твердостью, теплостойкостью, высоким абразивным воздействием. Другим недостатком вольфрама является склонность к образованию нестойких окисных пленок, вследствие этих

причин инструменты из быстрорежущей стали быстро тупятся, вызывая выкрашивание на обрабатываемой поверхности. Поэтому при обработке резанием вольфрама применяют остро заточенный твердосплавный инструмент с большими значениями передних углов. Процесс стружкообразования при резании вольфрама протекает по схеме хрупкого разрушения, при этом обработанная поверхность детали имеет ярко выраженную шероховатость. При обработке вольфрама плотностью не менее 85% с относительно низкими скоростями резания образуется мелкодробленая форма стружки. По мере увеличения скорости резания достигается переход на непрерывную стружку (при этом снижается шероховатость поверхности). Для токарной обработки нелегированного вольфрама высокой плотности твердосплавными резцами рекомендуются следующие режимы резания: для черновой обработки  $S=0,25...0,3$  мм/об,  $V=46...61$  м/мин; для чистовой –  $S=0,18...0,23$  мм/об,  $V=61...91$  м/мин.

Обрабатываемость вольфрама резанием, ввиду его высокой хрупкости, сильно зависит от вида операции. Вероятность откалывания и растрескивания получаемой при обработке поверхности детали особенно велика на операциях, связанных с ударным воздействием инструмента, например при фрезеровании. При точении вольфрама сила резания характеризуется высокой радиальной составляющей, что вызывает повышенный износ вершины инструмента. Поэтому обработку ведут с небольшими глубинами резания ( $t=1,5$  мм).

Хорошие результаты при обработке вольфрама дает его подогрев до температуры 300...400°C (в несколько раз повышается стойкость резцов, устраняются выкрашивание и растрескивание обрабатываемого материала за счет увеличения пластичности).

Молибден характеризуется низкой обрабатываемостью резанием, однако он более пластичен, чем вольфрам. Особенностью обработки молибдена, по сравнению с вольфрамом, является ограниченный выбор видов охлаждающих жидкостей, так как молибден химически активен и легко взаимодействует, например, с осерненными маслами. Хорошие результаты при обработке резанием молибдена показывает смесь хлорированного масла с трихлорэтиленом в пропорции 1/1; при этом следует учесть, что пары этой жидкости токсичны и требуют проведения специальных мер по технике безопасности. Некоторое повышение стойкости резцов и снижение шероховатости поверхности дает применение 10%-ного раствора

эмульсола. При резании молибдена применяют оптимальные величины скоростей (на малых скоростях возрастает шероховатость, на больших – интенсивность износа инструмента).

Ниобий характеризуется малой прочностью и высокой пластичностью. По обрабатываемости ниобий можно сравнить с медью; оба металла пластичны и легко режутся. Отличительная особенность ниобия – его активное схватывание с рабочими поверхностями инструментов, наволакивание на них. Это увеличивает работу трения, приводит к наклепу и повышению температуры в зоне резания, что снижает стойкость инструмента и ухудшает шероховатость поверхности. При точении ниобия применяют резцы из сплавов ВК6М и Р18 с  $\gamma=25^\circ$ ,  $\alpha=15^\circ$ ,  $\varphi=60^\circ$ ,  $\varphi_1=10^\circ$  и  $\lambda=0^\circ$  при  $V=50$  м/мин,  $S=0,2...0,3$  мм/об при черновой обработке и меньше  $s=0,125$  мм/об – при чистовой.

Бориды тугоплавких металлов ( $ZrB_2$ -Мо,  $TiB_2$ -Мо,  $TiB_2$ -Cr) являются одним из особо жаропрочных материалов; однако они очень хрупки и восприимчивы к тепловым ударам. Обработка резанием заготовок из боридов определяется их основными механическими характеристиками – повышенной твердостью и хрупкостью. Удовлетворительные результаты при обработке боридов (и тугоплавких металлов) показывают шлифование и резка абразивами, особенно при применении ультразвуковой и анодно-механической обработки. Например, при мощности ультразвукового генератора в 600 Вт производительность обработки боридов составляет 20...30 мм<sup>3</sup>/мин, в то время как обработка твердым сплавом ВК8 при тех же условиях дает производительность 6...8 мм<sup>3</sup>/мин.

## Глава 9. ОБРАБОТКА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ РЕЗАНИЕМ

### 9.1. Обработка материалов на основе полимеров

Придание материалам на основе полимеров соответствующей конструкционной формы с помощью прессования, литья, штамповки и других методов формования не всегда возможно, что связано с усложнением конструкций пресс-форм и самих процессов формирования. Поэтому возникает необходимость в механической обработке (сверление отверстий, выборка пазов, образование поверхностей соприкосновения и др.). Большинство материалов на основе полимеров хорошо поддается обработке реза-

нием и выполняется на обычном металлорежущем оборудовании. Однако скорость резания и скорость подачи, а также инструмент для их обработки должен быть несколько видоизменен в зависимости от свойств обрабатываемого материала. Следует учитывать также и температурный режим в зоне резания, так как возможны деформирование деталей, деструкция материала, выделение вредных газообразующих продуктов и пыли.

**Токарная обработка деталей из пластмасс** обычно ведется на универсальных металлорежущих станках и токарных автоматах при высоких скоростях резания, но со снятием тонкой стружки. В большинстве случаев охлаждающую жидкость не применяют, однако при обработке термопластичных материалов допустимая температура в зоне резания не должна превышать 100...120°С, а для термореактивных – 200...300°С. Следует учитывать, что температура в зоне резания определяется не только скоростью резания, скоростью подачи, глубиной резания, свойствами обрабатываемого материала, но и правильностью и качеством заточки режущего инструмента и свойствами материала режущего клина.

При токарной обработке деталей из пластмасс применяются резцы, режущий клин которых изготовлен из быстрорежущей стали (марок Р9, Р12, Р6М3, Р10К5Ф5 и др.), твердых сплавов (ВК4, ВК8, Т15К6 и др.), минералокерамики (ЦМ332), кубического нитрита бора (эльбор) и алмазов, т.е. тех материалов, которые имеют высокую теплостойкость и теплопроводность.

**Токарные резцы** для обработки пластмасс отличаются от аналогичных для обработки металлов углами заточки.

При обработке пластмасс необходимо увеличивать задний угол  $\alpha$  резца до 15...25°, так как вследствие высоких упругих свойств пластмасс увеличивается площадь контакта резца с деталью, что приводит к быстрому износу режущей кромки резца и повышенному тепловыделению. Для материалов со сливной стружкой, например, как у термопластов, оптимальный передний угол  $\gamma$  резца находится в пределах 10...20°. При обработке термореактивных материалов с ломкой стружкой передний угол  $\alpha$  выбирают в пределах 0...5°, а вершину резца выполняют с радиусом 1,5...3,0 мм. Главный угол  $\phi$  в плане для проходных резцов составляет 45°, а вспомогательный 0...5°, угол наклона режущей кромки  $\lambda=0^\circ$ .

**Скорость резания** выбирают исходя из обрабатываемого материала и типа режущего инструмента. Для термопластов, обрабатываемых быстрорежущими резцами, скорость резания выбирается в диапазоне 600...900

м/мин, а при обработке резцами из инструментальной углеродистой стали – до 100 м/мин. Подача при черновой обработке составляет 0,3...0,6 мм/об, при чистовой 0,05...0,2 мм/об. При обработке термореактивных материалов с дисперсными наполнителями скорость резания, в зависимости от вида пластмасс, выбирается в диапазоне 100...500 м/мин. Подача до 0,3 мм/об.

Слоистые пластики типа текстолита и гетинакса обрабатывают быстрорежущими резцами при скоростях резания 50...120 м/мин и твердосплавными – при скоростях 200...300 м/мин и подаче 0,1...0,3 мм/об. Пластики, наполненные стекло- и асболоволоком, углеграфитными и борными волокнами, обрабатывают твердосплавными резцами при скоростях 125...150 об/мин. Применение алмазного инструмента позволяет повысить скорость резания до 1300 м/мин при подаче 0,05 мм/об и глубине резания до 1 мм. Параметры резца следующие:  $\gamma=0...3^\circ$ ;  $\alpha=8...12^\circ$ ;  $\phi=30...90^\circ$ ;  $\phi_1=0...10^\circ$ ;  $\lambda=0^\circ$ ;  $r=0,2...0,3$  мм.

От **режимов обработки** зависит не только производительность процесса, но и шероховатость поверхности, на которую наибольшее влияние оказывает подача. Чем меньше подача, тем меньше высота микронеровностей. При обработке термопластов устойчиво получается шероховатость в пределах Ra 2,5...10, а при чистовом – Ra 0,63...1,25 мкм. При обработке термореактивных материалов шероховатость достигается в пределах Ra 2,5...10 мкм. Меньшей шероховатости можно достичь лишь при обработке алмазным инструментом. Его целесообразно применять для обработки оргстекла с целью получения полной прозрачности обрабатываемой поверхности.

**Фрезерование пластмасс.** Фрезерованием обрабатываются обычно кромки для последующей стыковки отдельных деталей, листов, реже для дополнительной обработки сложных контуров на уже сформированной детали.

Фрезерование пластмасс осуществляется на обычных горизонтально- или вертикально-фрезерных станках, оснащенных специальными устройствами для улавливания и отсоса стружки и пыли, а также различными зажимными приспособлениями и устройствами.

Обработка ведется цилиндрическими или коническими фрезами со специальным спиральным зубом и углом наклона главных режущих кромок к оси фрезы  $\omega=20...25^\circ$ , торцевыми и фасонными фрезами.

Фрезы для обработки пластмасс, в отличие от фрез для обработки металла, должны иметь по возможности меньшее число зубьев, так как при этом увеличивается объем стружечных канавок, большие задние углы, простую форму передней поверхности. Большой угол наклона главных режущих кромок к оси фрезы выполняется с целью обеспечения плавности работы и снижения ударной нагрузки на режущие кромки зубьев. Передний угол обычно выбирается в диапазоне  $10...15^\circ$ , задний –  $10...25^\circ$ .

При обработке термопластичных материалов угол наклона зубьев к оси фрезы выбирается равным  $20...25^\circ$ , при заточке допускается фаска на задней поверхности зубьев размером до  $0,03$  мм. Фрезерование деталей из термопластов производится при скоростях  $300...900$  м/мин, а реактопластов –  $80...200$  м/мин, глубина резания рекомендуется не более  $2,5...3,0$  мм. Охлаждение зоны резания производится струей воздуха, в отдельных случаях используют эмульсии. Фрезы изготавливаются из быстрорежущей стали или из твердых сплавов.

Для обработки реактопластов используют фрезы из быстрорежущей стали или с твердосплавными пластинами. Применяют обычно фрезы с углом наклона спирали  $45...50^\circ$ ,  $\alpha=16...25^\circ$ ,  $\gamma=5...8^\circ$ . Использование фрезы с наклонным зубом обеспечивает плавность ее врезания в материал и уменьшает количество пыли при обработке наполненных пластмасс.

При обработке слоистых пластиков фрезерованием следует применять специальные фрезы из быстрорежущих сталей с меньшим числом зубьев, чем для металла (обычно 5), с углом наклона главной режущей кромки  $\omega=55^\circ$ , чтобы направление вращения фрезы совпадало с направлением подачи во избежание расслаивания и сколов материала. Скорость резания выбирают в диапазоне  $50...400$  м/мин, подача  $0,04...0,5$  мм/зуб.

Слоистые пластики, армированные стекло- и асболокном, углеродными волокнами, рекомендуется обрабатывать фрезами с твердосплавными пластинами при скоростях резания  $125...300$  м/мин и подачах  $0,1...0,3$  мм/зуб. При хлопчатобумажных наполнителях –  $V=300...500$  м/мин и  $S=0,3...0,5$  мм/зуб. На прорезных фрезах необходимо заточить режущие кромки и по торцу, что снижает трение и улучшает тепловой режим резания.

Плоскости и уступы обрабатываются торцовыми фрезами с твердосплавными пластинами со следующими углами заточки:  $\alpha=20...25^\circ$ ;  $\gamma=0...16^\circ$ ;  $\varphi=45...90^\circ$ ;  $\lambda=0^\circ$ . Скорость резания для термопластов составляет  $200...500$  м/мин, для реактопластов стеклонаполненных  $40...400$  м/мин,

других  $200...600$  м/мин. Подача для термопластов выбирается в диапазоне  $0,3...0,6$  мм/зуб, для реактопластов стеклонаполненных  $0,03...0,2$  мм/зуб, содержащих другие наполнители  $0,2...0,7$  мм/зуб.

Для обработки фасонных поверхностей деталей применяются фасонные фрезы. При обработке слоистых материалов такими фрезами рекомендуется скорость резания не более  $200$  м/мин при подаче  $0,03...0,08$  мм/зуб.

**Сверление.** Сверление может быть как окончательной операцией, так и предварительной перед зенкерованием, развертыванием и нарезанием резьб. В качестве режущих инструментов используют перовые и спиральные сверла из быстрорежущей стали, сверла с твердосплавными пластинами, алмазные сверла, вырезные резцы.

Отверстия большого диаметра в листовом материале могут вырезаться специальным циркульным резцом (рис. 12).

Сначала сверлится малое отверстие для фиксирования хвостовика инструмента, а затем производят вырезание отверстия необходимого диаметра. При сверлении в пластмассах необходимо учитывать сужение отверстий после обработки на  $1..2\%$  вследствие высоких упругих свойств материалов. Соответственно необходимо выбирать сверло большего диаметра. Кроме того, для уменьшения трения ширину направляющей ленточки сверла необходимо делать не более  $0,5$  мм.

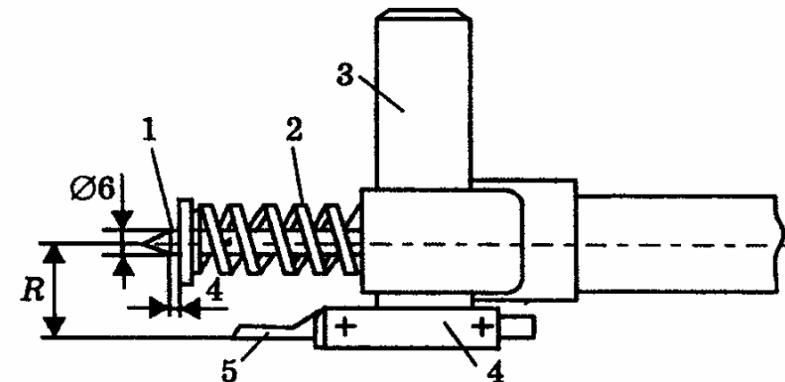


Рис. 12. Циркулярный резец:

- 1 – хвостовик; 2 – пружина; 3 – траверса;
- 4 – резцедержатель; 5 – резец

Во избежание выламывания или выкрашивания пластмасс на выходе сквозное сверление нужно производить на гладких прокладках из более мягкого материала, например, из древесины. При глубине сверления более 2,5 диаметров отверстия необходимо периодически извлекать сверло из отверстия для удаления стружки и охлаждения. Желательно охлаждение производить сжатым воздухом. Для лучшего удаления стружки сверло должно иметь большой угол  $\omega$  (15...17°) и широкую стружечную канавку с полированной поверхностью.

Во избежание выкрашивания материала в процессе обработки тонкостенных и полых деталей, а также листового материала из термопластичных материалов применяют сверла с углом при вершине  $2\varphi=55...60^\circ$ , а для сверления оргстекла – с двойным углом заточки  $2\varphi_0=70^\circ$ ,  $2\varphi=130...140^\circ$  (рис. 13). Сверление осуществляется при скорости резания 40...50 м/мин и подаче 0,05...0,1 мм/об.

Лист необходимо зажимать в тисках или между прижатыми пластинами во избежание расслоения. Подача и скорость резания выбираются в зависимости от типа пластика (табл. 46).

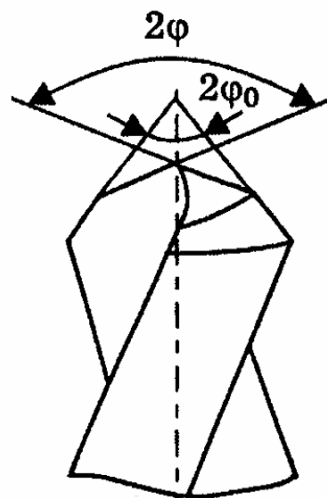


Рис. 13. Сверло с двойным углом заточки

Таблица 46

Тип пластика	Материал сверла	Геометрические параметры сверла, град.			Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об
		$2\varphi$	$\gamma$	$\alpha$		
Гетинакс	ВК6	90	–	15...20	30...35	0,1...0,5
Текстолит	ВК6	70	–	16	16	0,05...0,1
Стеклотекстолит	ВК6, ВК8	70...90	15	25...30	25...30	0,08...0,25

Сверление термопластичных материалов может производиться сверлами как из быстрорежущей стали, так и оснащенными твердосплавными пластинами. Сверлами из быстрорежущей стали сверлятся отверстия небольшого диаметра и в реактопластах. Отверстия диаметром более 5 мм в стекло- и асбонаполненных пластмассах обрабатывают твердосплавными сверлами. Скорость резания составляет 45...90 м/мин, а подача – 0,05...0,1 мм/об.

Отверстия малого диаметра в композитах с дисперсным наполнителем выполняют сверлами с углом заточки  $2\varphi=30...40^\circ$ . Отверстия диаметром более 10 мм необходимо предварительно обработать сверлом диаметром 5...6 мм, а затем рассверлить их большими сверлами.

Для уменьшения трения и износа сверл задние углы делают больше, чем при обработке металла. Обычно  $\alpha=10...25^\circ$ . Передний угол сверл выбирается в пределах 0...15°.

При сверлении отверстий в пенопластах используются спиральные сверла, пустотелые сверла-пилы или трубчатые сверла. Отверстия диаметром 10...20 мм обрабатывают спиральными сверлами из углеродистых сталей У8А, У10А. Подрезающие кромки затачивают под углом 30°. Задние поверхности сверла затачивают под углами  $\alpha=25^\circ$  и  $\alpha_0=60^\circ$ . Скорость резания выбирается в диапазоне 40...250 м/мин, подача – 0,3...0,5 мм/об. Сверло необходимо периодически извлекать из отверстия для удаления стружки. Отверстия диаметром до 10 мм можно выполнять с помощью коронок, представляющих собой полый закаленный металлический стержень из стали У10А с заостренной режущей частью. Производится прошивка отверстий без вращения. Отверстия диаметром более 20 мм выполняют трубчатыми сверлами и сверлами-пилами.

**Развертывание.** При необходимости получения отверстий с более точными размерами после сверления производится развертывание посредством разверток при скоростях резания 40...90 м/мин с подачей

0,1...0,6 мм/об. Обычно под развертку оставляют припуск 0,1...0,2 мм. Достигается 6-7-й квалитеты точности обрабатываемой поверхности.

Используются цилиндрические и конические развертки с прямыми или спиральными зубьями из быстрорежущих сталей с углами заточки  $\gamma=0^\circ$ ,  $\alpha=8^\circ$ .

**Нарезание резьбы в пластмассовых деталях.** Получение резьбы в пластмассовых деталях возможно двумя путями: без снятия и со снятием стружки. В первом случае резьба воспроизводится непосредственно при изготовлении детали в форме (однако вследствие усадки пластмасс при отверждении точность такой резьбы невысока). Этот способ применяется для деталей с малонагруженными или неотчетственными резьбовыми соединениями.

Резьба со снятием стружки оформляется в деталях на металлорежущих станках. Наружную резьбу выполняют резьбонарезными головками, плашками, резцами, резьбовыми гребенками, абразивными кругами, а внутреннюю – метчиками и резцами. Режущий инструмент изготавливается из быстрорежущей стали и твердых сплавов. Твердосплавные метчики применяются с двумя-тремя полированными канавками, несколько более широкими, с передним углом от  $-10^\circ$  до  $+10^\circ$ . Наружный и средний диаметры метчиков увеличивают на 0,05...0,13 мм.

Распиливание пластмасс производится с помощью дисковых, ленточных и циркулярных пил, а для ряда пластмасс – термоэлектрическим методом.

Выбор конструкции режущего инструмента и режимов резания нужно производить с учетом особенностей пластмассы, ее упругих свойств, возможности оплавляться в зоне резания и налипать на режущий инструмент, ее теплопроводности и т.д. При заточке зубьев фрез на задних и боковых поверхностях цилиндрические фаски не допускаются. Для обработки пластмасс нельзя использовать фрезы с большим шагом и малым числом зубьев. В контакте с материалом должны находиться одновременно минимум два зуба, что повышает качество реза и предотвращает сколы материала.

Распиловку тонкого листового материала рекомендуется производить пилами с соответствующей формой пластин из твердого сплава (рис. 14) или из быстрорежущей стали с симметричным зубом и разводом 0,3...0,5 мм на сторону. Для распиловки термопластичных материалов толщиной до 15 мм используются фрезы и пилы из легированных сталей 9Х5ВФ,

9Х8, У8А, а также из быстрорежущих сталей диаметром 100...250 мм с числом зубьев 120...140, толщиной до 5 мм, с углами заточки  $\alpha=20^\circ$ ,  $\gamma=10^\circ$ . Зубья пил должны быть разведены симметрично в обе стороны.

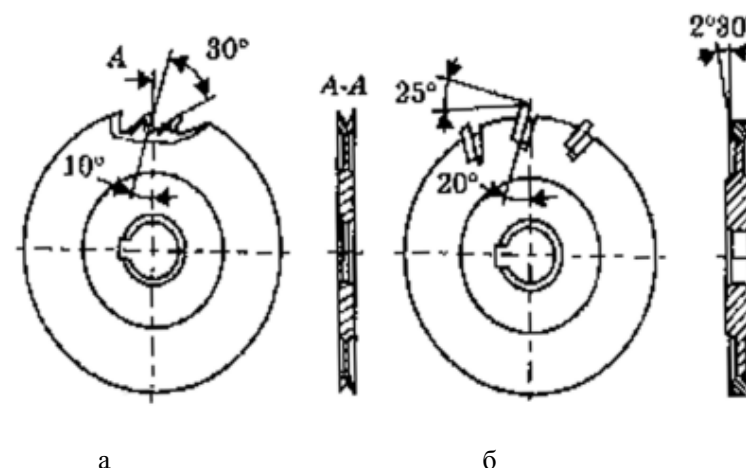


Рис. 14. Дисковые пилы:  
а – с разводом зубьев; б – со вставными зубьями

Листовой материал из реактопластов типа гетинакса и текстолита толщиной до 45 мм разрезают дисковыми фрезами из быстрорежущей стали или фрезами, оснащенными твердосплавными пластинами. При распиловке инструментом из быстрорежущей стали рекомендуется выбирать скорости резания 150...400 м/мин и подачи 0,2...0,5 мм/зуб, а твердосплавным инструментом – соответственно 600...1000 м/мин и 0,07...0,3 мм/зуб.

Разрезку стекло- и асбонаполненных реактопластов производят также корундовыми и алмазными абразивными кругами. Обработку корундовыми кругами толщиной 3...6 мм и диаметром 350 мм следует производить со скоростями резания до 50-60 м/с и подачи 0,01...0,6 м/мин – в зависимости от толщины и направления распиловки относительно армирующих волокон. При разрезке алмазными кругами диаметром 200 мм и толщиной 1,2...2,0 мм на металлической связке высокое качество реза и высокую стойкость инструмента обеспечивают скорости резания 25...30 м/с с подачей 1,0...1,5 м/мин и охлаждение водой.

Для получения деталей фасонного профиля, резки труб, стержней и других профилей применяют разрезку на ленточных станках. Используют

стандартные ленточные пилы (рис. 15) шириной 10...25 мм, толщиной 1,0...1,5 мм с 1,5...5,0 зубьями на 10 мм длины пилы. Зубья пил затачиваются под углами  $\gamma=5..8^\circ$  и  $\alpha=15..40^\circ$ . Листовой материал толщиной до 2 мм режут полотнами с мелким зубом без развода. Распиловку более толстых листов производят пилами с более крупным зубом и разводом в обе стороны на половину толщины пилы. Скорость резания выбирают в диапазоне от 300 до 600 м/мин.

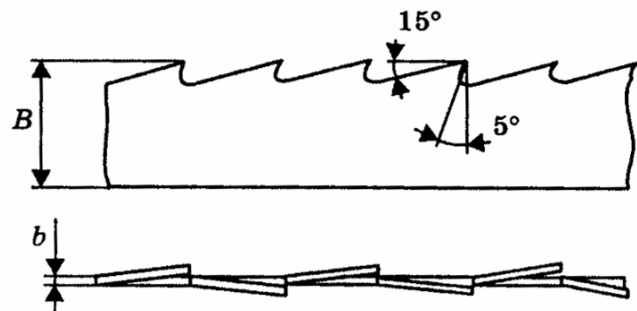


Рис. 15. Ленточное полотно для обработки пластмасс

Тонкий листовый материал можно разрезать ручными ножницами для металла или на механических гильотинах. При этом необходимо обеспечить зазор между лезвиями не более 0,1...0,2 мм, плотно прижимать лист к столу у линии реза. Без подогрева хорошее качество реза обеспечивается на текстолитах и гетинаксах толщиной до 0,8 мм, на штамповочном гетинаксе, текстолите с плотной тканью, асботекстолите толщиной до 1,5 мм, стеклотекстолите до 3 мм. При предварительном подогреве листов до 120°C можно резать на гильотинных ножницах листы толщиной до 3,0 мм, а стеклотекстолит – до 9 мм. Листовые термопласты толщиной до 2,0...2,5 мм, за исключением полистирола и оргстекла, можно резать ножницами без подогрева. Жесткие и хрупкие материалы, например, полистирол, оргстекло, дисперснонаполненные феноло-формальдегидные и мочевино-формальдегидные композиции раскрою ножницами не подлежат.

Вырезку круглых заготовок из листового материала (оргстекла, винипласта) производят циркульным резцом (см. рис. 12).

Пенопласт можно разрезать как механическим путем на ленточных и круглопильных станках, так и термоэлектрическим методом. Круглые пилы применяют с профилем зуба в виде равностороннего или равнобедрен-

ного треугольника с мелким зубом и разводом на 0,15 мм на сторону. Ленточные пилы применяют с прямоугольным профилем, косой заточкой и разводом на 0,15 мм на сторону. Скорость подачи материала должна быть не выше 1,25 м/мин.

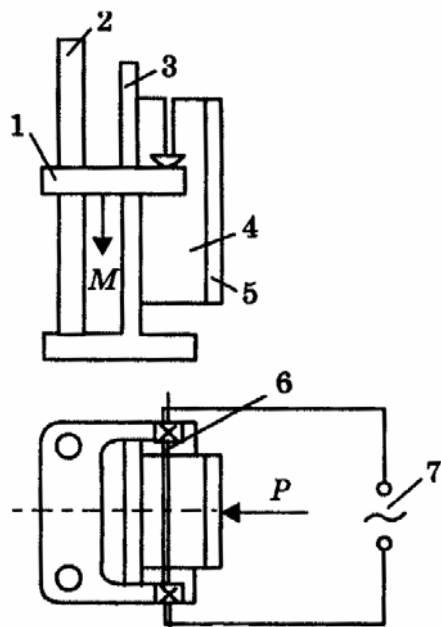
Термоэлектрический метод резки схематически представлен на рис. 16. Разрезаемая заготовка помещается между двумя опорными поверхностями. Проволока из высокоомного сплава (например, нихрома) подключается к низковольтному источнику питания и, нагреваясь до температуры 400...500°C, расплавляет материал. Под тяжестью траверсы она автоматически перемещается вниз, разрезая заготовку. На специальных электролобзиках можно вырезать этим методом любые фасонные изделия.

**Шлифование и полирование пластмасс.** Шлифование пластмасс можно производить на станках, оснащенных специальными дисками, или ручным способом с помощью наждачной шкурки. Используют этот процесс в основном для снятия заусенцев с деталей, полученных прессованием, для подготовки деталей к склеиванию, а также для обработки поверхностей, подвергающихся механической обработке, если это требуется по условиям эксплуатации.

Для черного шлифования деталей из amino- и фенопластов рекомендуются карборундовые круги твердости M1, M2, C1, CM2 с зернистостью 20...36. Режимы резания следующие: скорость 35...40 м/с, продольная подача 0,07...0,20 мм, поперечная подача 0,1...0,2 мм. Чистовую обработку производят аналогичными кругами, но зернистостью 60...80 при скорости резания 30...40 м/с, глубине 0,01...0,10 мм и поперечной подаче 0,01...0,10 мм.



Рис. 16. Схема термоэлектрического метода резки пенопласта:  
 1 – траверса; 2 – стойка; 3 – упор; 4 – заготовка; 5 – прижим; 6 – высокоомная проволока; 7 – источник



Текстолит обрабатывают абразивными кругами зернистостью 30...40 на мягкой связке, со скоростью резания не менее 25 м/с при глубине 0,1 мм и поперечной подаче 3...5 мм/дв.х.

Термопласты шлифуют мягкими кругами, набранными из плотного полотна (муслина или сукна), смазанного пастой из тонкоизмельченной пемзы. Для исключения «прижога» материала при обработке необходимо, чтобы длительность контакта круга с изделием была не более 1,5 с, а давление не более 0,05...0,15 МПа.

Полирование деталей производят с целью устранения с их поверхностей следов предшествующих технологических операций и поверхностных дефектов, полученных в процессе изготовления (например, матовости поверхностей), а также придания им блеска.

Полировальные круги изготавливают наборными из тканей (хлопчатобумажной, байковой, суконной). Твердые полировальные круги набираются в шайбы (диаметром 200...400 мм) и толщиной 60...100 мм, зажатые с двух сторон металлическими прокладками. Применяют их для выведения рисок, царапин и других глубоких дефектов.

Окончательное полирование производят мягкими и самоохлаждающимися дисками. Самоохлаждающиеся диски изготавливают путем набора

ра и уплотнения пакета из хлопчатобумажных дисков диаметром 150...300 мм и 40...75 мм, чередуя каждый диск большого диаметра двумя малыми. Толщина пакета обычно составляет 100...120 мм. В качестве полировальных паст для сухого полирования используют абразивные компоненты (карборунд, корунд, оксид хрома и др.) в различных соотношениях с воскообразными веществами или маслами (парафином, церезином, пчелином воском, машинным, веретенным и другими маслами).

«Сухое» полирование применяют для реактопластов. Для термопластов применяют «мокрое» полирование составом, состоящим из измельченной пемзы двух сортов, взятых в соотношении 0,5...1,5, замешанных на воде до густой пасты, наносимой на полировальные круги. Эти составы используют для грубой полировки. После промывки выполняют окончательное «сухое» полирование.

При обработке оргстекла может применяться «огневое» полирование, заключающееся в воздействии водородно-воздушного пламени в течение нескольких секунд на предварительно обработанную поверхность.

## 9.2. Обработка древесных материалов

Сопротивление древесины резанию обуславливается ее породой и направлением резания. В зависимости от расположения волокон древесины возможно резание торцевое, продольное, поперечное и (гораздо реже) под углом. При этом сопротивление резанию вдоль направления волокон в 2-3 раза, а по торцу в 6 раз выше, чем при резании в поперечном направлении. Сила резания также зависит от угла резания и остроты режущей кромки. При затуплении резца возникают деформации, смятия волокон, сопровождаемые действием сил упругого восстановления, которые могут достигать уровня силы резания (для тупого резца). Шероховатость поверхности снижается с уменьшением угла резания, толщины стружки и увеличением скорости резания.

Для продольной распиловки древесины применяют пилы с подрезом спинки (рис. 17, а), а для поперечной – пилы с профилем зуба, приведенным на рис. 17, б и в.

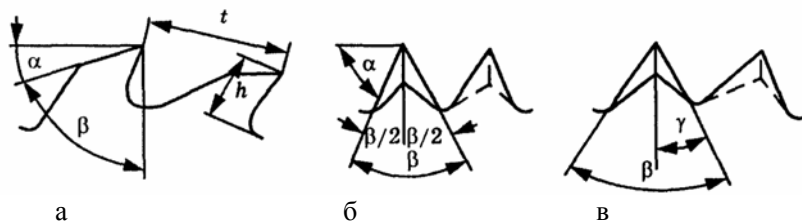


Рис. 17. Геометрия зубьев пил для продольной (а) и поперечной (б, в) распиловки древесины: б – с симметричным; в – с асимметричным профилем

Для распиловки хвойных пород применяют пилы, имеющие зуб с прямой спинкой ( $\alpha=30...35^\circ$ ,  $\delta=70...75^\circ$ ), для твердых пород – с подрезом спинки или с выпуклой спинкой ( $\alpha=15...20^\circ$ ,  $\delta=60...80^\circ$ ).

Для улучшения качества поверхности в месте распила и снижения мощности резания используют косую заточку пил (рис. 18). С целью снижения сил трения между разрезаемым материалом и боковыми поверхностями зубьев пил применяют развод зубьев (отгибание их верхней части поочередно влево и вправо) на 0,15...0,80 мм на каждую сторону. Большой развод выполняется при распиловке влажной и мягкой древесины. Однако развод пил несколько ухудшает качество пропила. Более высокое качество реза и снижение сил трения при резании достигается при распиловке дисковыми пилами с зубьями, утолщающимися к периферии, для которых отпадает необходимость в разводке.

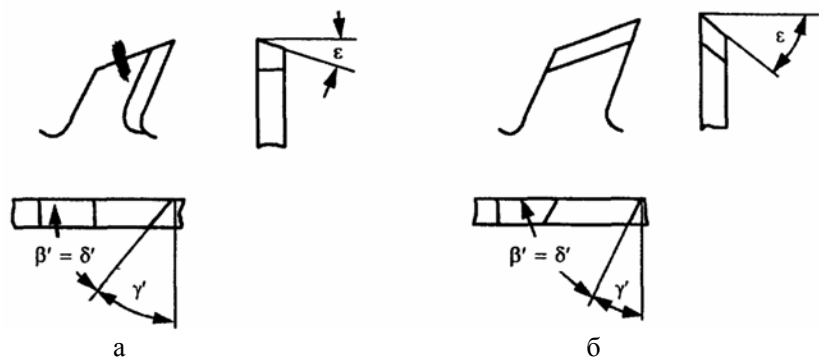


Рис. 18. Пример косой заточки зубьев пилы по передней (а) и задней (б) поверхностям

Для распиловки древесины используют круглые (дисковые), ленточные и лобзиковые пилы. Круглые пилы представляют собой стальные диски с зубьями по контуру. Зубья могут быть изготовлены из материала диска, с напаянными пластинами из твердых сплавов или вставными (для сборных пил большого диаметра).

Ленточные пилы выполняются в виде непрерывной ленты шириной 40...50 мм с зубьями на передней кромке.

Лобзиковые пилы применяются для выпиливания внутренних замкнутых контуров. Их изготавливают длиной 130...140 мм, толщиной 0,3...0,7 мм, шириной 1,5...5,0 мм с зубьями по профилю прямоугольного треугольника с углом резания  $90^\circ$ .

Обработка больших плоских поверхностей производится на строгальных станках. В качестве рабочего инструмента используют строгальные ножи, устанавливаемые во вращающуюся вокруг горизонтальной оси головку (рис. 19). Высота ножей регулируется посредством винтов 2. Крепление ножей в пазах осуществляется прижимной планкой 4 с помощью распорных винтов 5.

Заточку ножей обычно производят по задней грани, обеспечивая угол  $\beta=45^\circ$ , применяют также двойную заточку ножей. Угол резания  $\delta$  выбирают в диапазоне  $55...80^\circ$  в зависимости от твердости породы. Чем тверже древесина, тем больше угол резания.

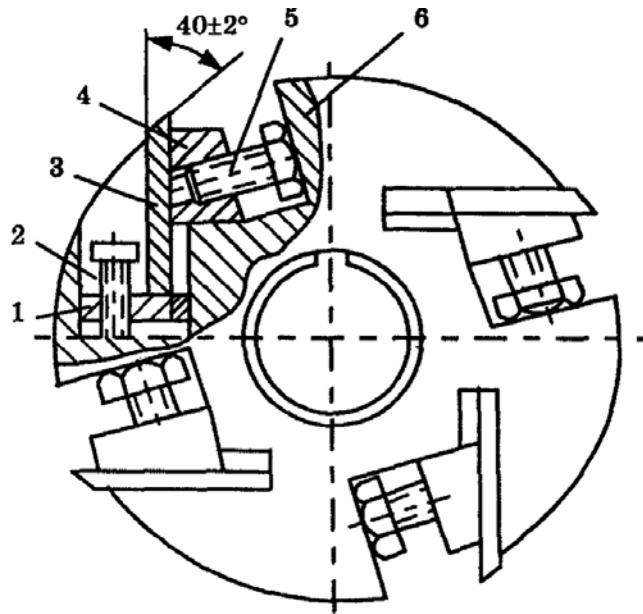


Рис. 19. Ножевая головка:

1 – планка; 2 – регулировочный винт; 3 – нож; 4 – прижимная планка; 5 – распорный винт; 6 – корпус головки

Фасонную обработку древесины производят на фрезерных станках. Используются как цилиндрические и фасонные фрезы, крепящиеся на цилиндрической оправке в шпинделе станка, так и концевые, крепящиеся непосредственно в шпинделе станка.

Пазовые и прорезные фрезы выполняют с косой заточкой боковых поверхностей зубьев под углом  $1,5...3,0^\circ$  для создания зазора между боковой поверхностью фрезы и обрабатываемой поверхностью с целью снижения сил трения. Заточка фрез производится по передней поверхности. При обработке на копировально-фрезерных станках используют концевые двухрезцовые фрезы с прямым и спиральным расположением режущих кромок, а также однорезцовые затылованные и незатылованные фрезы. У незатылованной фрезы задняя поверхность выполнена по дуге окружности из центра фрезы. Для снижения сил трения при обработке такие фрезы крепятся в патроне эксцентрично. Концевые фрезы для внутреннего фрезерования изготавливаются с дополнительными торцевыми режущими элементами для первоначального заглубления режущего инструмента.

Конструкция сверл для обработки древесины (рис. 20) учитывает особенности ее волокнистого строения и анизотропию механических свойств. Широкое применение для сверления поперек волокон имеют центровые сверла с подрезателями. Подрезатель перерезает волокна, режущая кромка их скалывает. Для предотвращения увода сверла в сторону предусмотрен направляющий центр. Для глубокого сверления вдоль волокон применяют ложечные и спиральные сверла, для выполнения отверстий под головки болтов, винтов, шурупов используются раззенковочные сверла. Сверление древесины производят при частоте вращения  $3...10$  тыс. об./мин с подачей  $0,1...0,3$  мм/об для твердых пород и фанеры,  $0,5...2,0$  мм/об для мягких пород древесины.

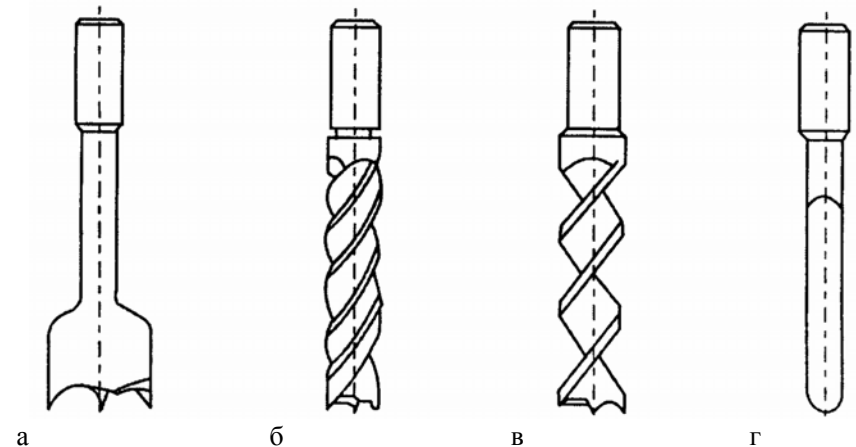


Рис. 20. Сверла для обработки древесины:  
а – центровое с подрезателями; б – спиральное с подрезателями; в – винтовое; г – ложечное

### 9.3. Обработка неорганических материалов

Характерной особенностью неметаллических конструкционных материалов (пьезокерамика, вакуумная и конденсаторная керамика, керамика, стекло, ферриты, полупроводники, двуокиси кремния, талька, кварца и др.) является их низкая обрабатываемость, высокая твердость, износостойкость и склонность к разрушению при местной даже незначительной концентрации напряжений. Обработка этих материалов режущим инструментом затруднена, а абразивным – малопроизводительна. На обработан-

ной поверхности деталей часто возникают сколы, трещины и микротрещины, которые очень трудно вывести при последующих чистовых операциях.

Широко распространенным методом механической обработки таких материалов является обработка алмазными кругами.

Алмазные круги, как и абразивные, характеризуются геометрической формой, материалом абразивного зерна, типом связки, величиной зерен, степенью твердости, структурой, расположением зерен и т.д. Одним из основных параметров характеристики является зернистость алмазов в алмазоносном слое круга. В табл. 47 приведено влияние зернистости алмазов на обработку различных материалов.

Таблица 47

**Влияние зернистости алмазных зерен круга на показатели обработки неметаллических материалов**

Материал	Связка круга	№ зерна	Удельный расход алмазов $q$ , $\text{м}^2/\text{г}$	Производительность $Q$ , $\text{г}/\text{мин}$	Класс чистоты
Керсил	M5	100/80	0,41	1,15	∇ 7а
		125/100	0,52	1,1	∇ 7а
		160/125	0,46	1,12	∇ 6в
		200/160	0,22	1,28	∇ 6в... ∇ 7а

Окончание табл. 47

Материал	Связка круга	№ зерна	Удельный расход алмазов $q$ , $\text{м}^2/\text{г}$	Производительность $Q$ , $\text{г}/\text{мин}$	Класс чистоты
Стекло К8	M52	100/80	0,31	2,8	∇ 8б... ∇ 8 в
		200/160	0,44	2,5	∇ 7а... ∇ 7б
		315/250	0,51	2,8	∇ 6а... ∇ 7б
Техническое стекло	M52	100/80	0,04	5,04	∇ 7в
		200/160	0,14	5,32	∇ 7б... ∇ 7в
		315/250	0,34	2,68	∇ 6в

Обычно при шлифовании алмазными кругами выбирают следующие режимы:  $V_k = \text{м}/\text{с}$ ,  $S_{\text{пш}} = 0,9 \text{ мм}/\text{ход}$ ,  $S_{\text{пр}} = 8...12 \text{ м}/\text{мин}$ ,  $t = 0,3...0,6 \text{ мм}$ .

Шлифование проводят с охлаждением струей 2%-ного водного раствора экстрадиола в количестве 10...12 л/мин. Эти режимы являются наиболее оптимальными.

При обработке неорганических материалов алмазными кругами изменение сил резания носит пульсирующий характер. Циклическое действие сил резания и температурные факторы создают благоприятные условия для разрушения алмазных зерен и износа алмазного круга, что определяет стойкость алмазного инструмента. В зависимости от формы, а также прочностных характеристик алмазные зерна обладают различной способностью противостоять действию внешних сил; если нагрузка превышает некоторый определенный для данных конкретных зерен предел, то наступает разрушение. Температурные воздействия могут создавать благоприятные условия для появления термических трещин на поверхности зерен алмаза. Циклическое действие силы приводит к вырыванию отдельных участков из основной массы алмазного зерна. Интенсивность износа круга по мере его эксплуатации неравномерна (вначале износ незначителен, спустя 50...80 мм износ достигает пикового значения, затем снижается в 2-3 раза и удерживается постоянным на протяжении 210...270 мин, после чего начинает интенсивно возрастать). В период стабильного износа круга по мере увеличения времени работы производительность процесса снижается, а шероховатость обработанной поверхности детали растет.

Наибольшую эффективность механической обработки хрупких неорганических конструкционных материалов обеспечивает процесс шлифования с применением кругов типа АПП200 из синтетических алмазов АСР зернистостью 200/160 и 100% концентрации алмазов на поверхности круга. Керамические материалы на основе двуокиси кремния (керсил, ниасит и др.), а также кварцевое стекло рекомендуется обрабатывать кругами на связках Т02, МК и М1, стекла группы тяжелых флинтос – кругами МК, Т02 и М52, а боросиликатные стекла – кругами М52 и М1.

При резании труднообрабатываемых материалов очень широко применяется ультразвук. Этот метод особенно эффективен при изготовлении отверстий и полостей сложной формы, получение которых другими методами затруднено или вообще невозможно.

При ультразвуковой обработке достигается высокое качество поверхностного слоя, что приводит к существенному повышению износостойкости и усталостной прочности твердосплавных штампов, матриц, прессформ, фильер и др. Зачастую ультразвуковой способ обработки совмещают с электрохимическим, при этом производительность обработки повышается в 10 раз, а износ инструмента снижается в 8-10 раз.

Метод ультразвуковой размерной обработки сводится к подаче в зону работы инструмента абразивной суспензии (зачастую под давлением) и ультразвуковых колебаний от концентратора колебаний, подключенного к ультразвуковому генератору. Для повышения производительности процесса применяют одновременное сообщение вращательных движений инструменту и заготовке.

Для ультразвуковой обработки стекла, минералокерамики и других хрупких материалов используется способ обработки непрофилированным инструментом – тонкой проволокой. В натянутом между двух опор инструменте – проволоке 2 (рис. 21), постоянно наматывающейся на катушку 5, возбуждаются ультразвуковые колебания от концентратора 1; обрабатываемая деталь 3 с небольшой силой  $P$  прижимается к инструменту, а в зону контакта инструмент – деталь подается абразивная суспензия. Получается своеобразный «ультразвуковой лобзик», который позволяет вести контурную вырезку, обработку узких пазов (шириной менее 0,1 мм), разрезку заготовок (при толщине обрабатываемого материала более 10 мм).

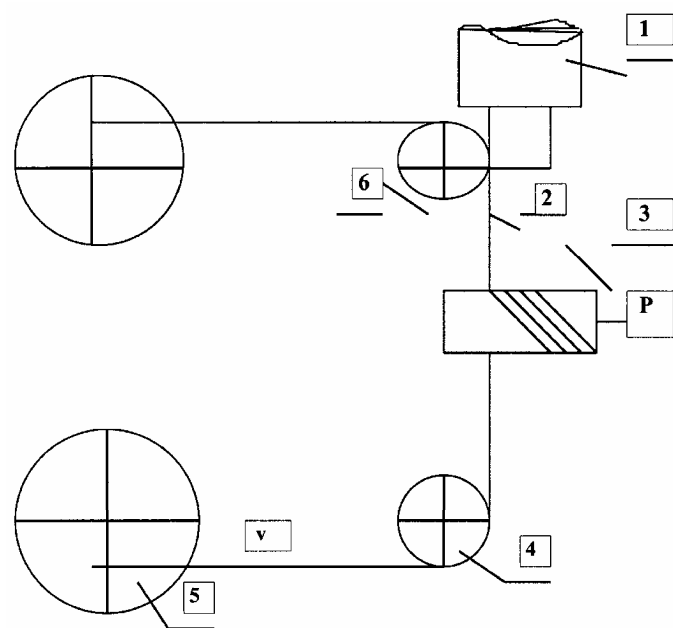


Рис. 21. Схема ультразвуковой обработки непрофилированным инструментом – проволокой:

1 – концентратор; 2 – инструмент – проволока; 3 – обрабатываемая деталь; 4 – направляющий ролик; 5 – катушка; 6 – прижимной ролик

При механической обработке твердых неметаллических материалов, особенно при сверлении отверстий малого диаметра на большую глубину, применяется ультразвуковое резание с обработкой вращающимся алмазным инструментом. Для этой цели используются специальные ультразвуковые вращающиеся головки, устанавливаемые на обычных металлорежущих станках. Также возможно применение специализированных ультразвуковых станков (например, марки МЭ-22).

Ультразвуковое сверление стекла, керамики и ситаллов алмазным инструментом на металлических связках является высокопроизводительным способом обработки глубоких отверстий (диаметром 3...10 мм и глубиной до 500 мм). Наиболее высокие режущие свойства имеют синтетические монокристалльные алмазы САМ и натуральные алмазы. Технологические характеристики алмазного сверления существенно зависят от прочностных свойств связки, увеличение прочности связки в 1,5-2 раза приводит к повышению производительности на 50...60% и снижению удельного расхода алмазов в 2 раза. Наиболее высокие режущие свойства имеют сверла на металлических связках М5-6 и М5-10. Оптимальные режимы сверления отверстий малого диаметра: удельная сила подачи  $p=200...400 \text{ Н/см}^2$ , число оборотов  $n=1800...2400 \text{ об/мин}$ , амплитуда колебаний режущего инструмента 10...11 мкм, зернистость алмазов АМ160/125 и САМ 160/125, концентрация  $K=100...150\%$ .

Большинство резиновых материалов легко поддается обработке резанием. Однако высокая эластичность резиновых материалов не позволяет при обычной температуре придать резиновому изделию соответствующую конфигурацию с требуемой точностью. Исключение составляют эбониты и многослойно армированные резиновые материалы. Благодаря высокой твердости эбонита он хорошо обрабатывается резанием на металлорежущих станках с применением тех же режущих инструментов, что и для обработки конструкционных сталей. Эбонит хорошо обрабатывается точением, фрезерованием, легко сверлится, развертывается, поддается нарезанию резьбы, очень хорошо полируется и т.д., однако достаточно хрупок.

В основном требуемая форма резиновых изделий получается формовкой с последующей вулканизацией. Однако на практике зачастую возникает необходимость обработки резины резанием. Для придания резине

требуемой твердости заготовку замораживают до достаточно низкой температуры, например, помещают на некоторое время в жидкий азот. Затем осуществляют обработку резанием. Следует учитывать, что после замораживания линейные размеры полученной детали изменяются (увеличиваются) за счет значительного температурного коэффициента линейного расширения. Точность изготовления детали зависит от опыта специалиста по обработке материалов резанием. Процесс замораживания и последующего размораживания может также привести к незначительному изменению физико-механических свойств материала обработанной детали.

## Глава 10. ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ДАВЛЕНИЕМ И ПРЕССОВАНИЕМ

### 10.1. Способы обработки материалов давлением и прессованием

Обработка материалов давлением и прессованием предусматривает ряд технологических методов (прямое прессование, литьевое прессование, литье под давлением, центробежное литье, экструзия, штамповка, пневмо- и вакуумформование и др.), от которых зависит устройство и вид технологического оборудования, причем в большинстве случаев обработка материалов осуществляется при определенной температуре.

Схема изготовления детали методом прямого прессования представлена на рис. 22. Она предусматривает наличие пуансона, толкателя для удаления детали из пресс-формы, матрицы и устройства, создающего требуемое давление. Загрузка материала для прессования строго дозирована. Если обработка материала идет при температуре, отличной от температуры окружающей среды, то осуществляется подогрев материала и пресс-формы. Подогрев может осуществляться самыми различными методами, наиболее распространенными из которых являются спиральный (терморезистивный) и нагрев токами высокой частоты (10...20 МГц).

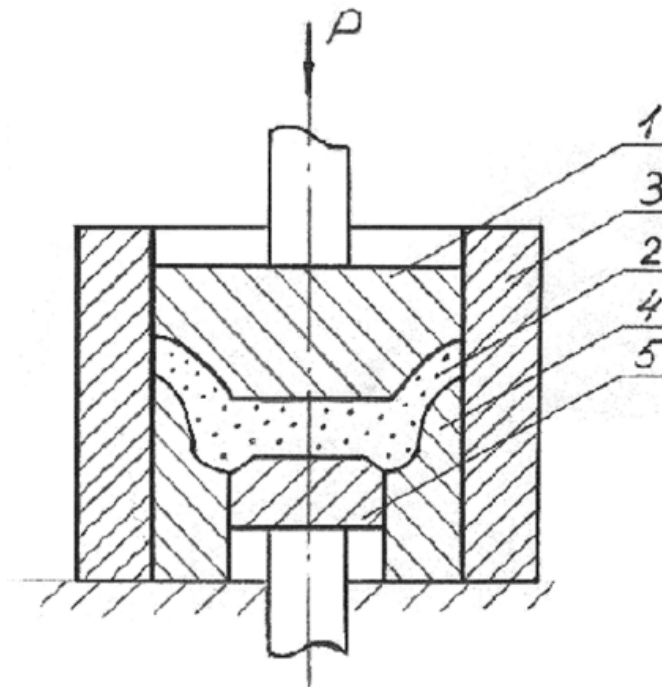


Рис. 22. Схема изготовления детали методом прямого прессования:  
1 – пуансон; 2 – обрабатываемый материал;  
3 – корпус; 4 – матрица; 5 – толкатель

Длительность нахождения материала в пресс-форме зависит от свойств обрабатываемого материала. В зависимости от природы обрабатываемого материала удаление готового изделия из пресс-формы может осуществляться либо сразу после формирования, либо оно требует охлаждения (нагревания) вместе с пресс-формой (технологический процесс требует наличия большого количества пресс-форм). Готовая деталь извлекается из формы только после полного отверждения материала. При такой обработке вес пресс-формы с материалом не должен превышать 20 кг.

Метод прямого прессования наиболее прост, однако имеет много недостатков: сложность организации массового производства деталей, трудность изготовления тонкостенных изделий и деталей сложной конфигурации. При литьевом давлении и прессовании (рис. 23) перерабатываемый

материал загружают в обогреваемую камеру, содержащую воронку для загрузки материала, корпус, пуансон и литниковую систему. Замкнутая пресс-форма перемещается к обогреваемой камере так, чтобы литниковая система состыковалась с литником пресс-формы. После нагрева пресс-массы до температуры перехода в вязкотекучее состояние материал под давлением пуансона через литниковую систему подается в формирующую полость пресс-формы. После отверждения массы деталь извлекается из формы. Зачастую требуется предварительный подогрев пресс-формы, а также иногда требуется охлаждение детали в пресс-форме на воздухе, обдувом или в другой среде.

К пресс-форме предъявляется ряд требований в части выдержки технологических углов изготавливаемой детали, шероховатости рабочих поверхностей пресс-формы (обычно шлифование с последующим никелированием) и др. При обработке некоторых материалов на внутреннюю полость пресс-формы наносят антиадгезионные материалы.

Отличие литьевого прессования от литьевого давления заключается в том, что при прессовании в техническом цикле изготовления детали используется весь материал, загружаемый во внутреннюю полость обогреваемой камеры. Это особенно важно для термоактивных материалов, время нахождения которых в вязкотекучем состоянии мало. Для этого используют специальное дозирующее устройство или ограничивают объем обогреваемой камеры.

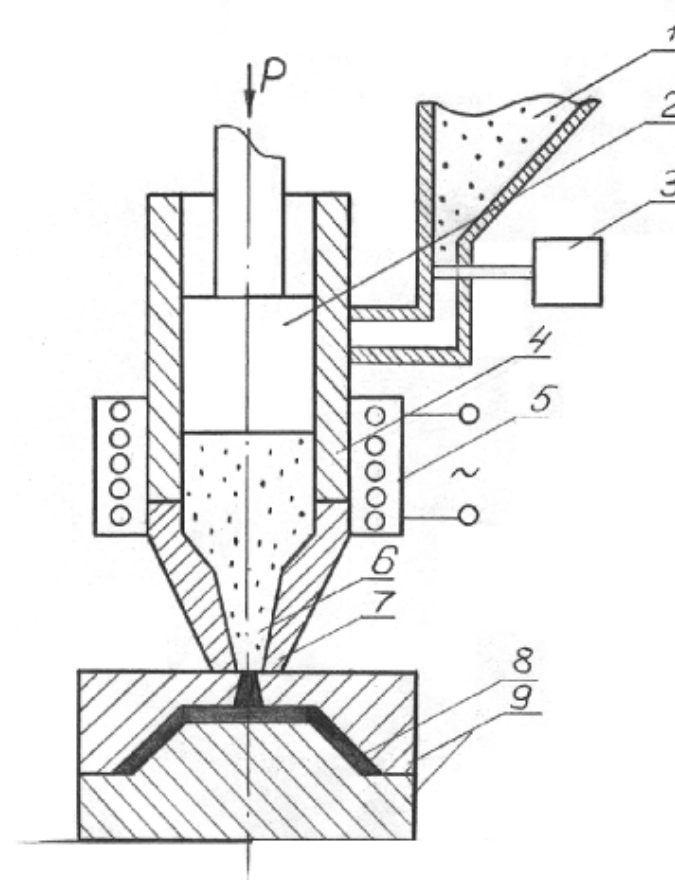


Рис. 23. Схема литьевого давления и прессования:  
 1 – воронка; 2 – поршень; 3 – дозирующее устройство;  
 4 – цилиндр обогревательной камеры; 5 – нагреватель;  
 6 – перерабатываемый материал; 7 – мунштук;  
 8 – изготавливаемое изделие; 9 – детали пресс-форм

Пресс-форма может состоять из двух и более деталей – в зависимости от сложности конфигурации изготавливаемого изделия.

Этот метод более технологичен, чем метод прямого прессования, и позволяет изготавливать тонкостенные детали самой сложной конфигурации. Литье может производиться как в одно-, так и в многоместные формы, что определяется геометрическими размерами и массой деталей, а также возможностями литьевой машины.

При наличии большого количества пресс-форм и автоматизации процесса изготовления деталей литье под давлением можно использовать и для тех материалов, время нахождения которых в вязкотекучем состоянии мало. Для этого используется шнековая подача материала (рис. 24). При шнековой подаче материал захватывается из бункера червяком и перемещается по винтовому каналу вдоль цилиндра к соплу, при этом происходит перемешивание материала, его уплотнение и равномерный нагрев. Причем нагрев осуществляется не только за счет внешнего источника теплоты, но и за счет трения и сдвиговых усилий в канале червяка, особенно в момент перемещения к соплу очередной пресс-формы, когда сопло перекрыто. Необходимая доза впрыска материала в пресс-форму осуществляется поступательным перемещением червяка под действием гидроцилиндра.

Для материалов, требующих значительного давления при прессовании, применяются литьевые машины с раздельными цилиндрами пластикации и ижекции. Из пластикационного канала под создаваемым червяком давлением материал, находящийся в вязкотекучем состоянии, поступает в ижекторный цилиндр, откуда под действием плунжера впрыскивается в литьевую форму. Для литья многоцветных изделий применяются литьевые машины с несколькими парами пластикационных и ижекторных цилиндров, причем последние работают на одно сопло с последовательным или одновременным впрыскиванием.

Машины для центробежного литья представляют собой формующую матрицу, которая имеет горизонтальное, вертикальное или пространственное вращение. Расплавленная масса заливается в форму и приводится во вращение. Под действием центробежных сил расплав заполняет периферийную зону матрицы и, застывая, приобретает нужную форму и размеры. Для качественной переработки материала матрица предварительно подогревается до требуемой температуры.

Для изготовления фасонных изделий, длина которых во много раз превосходит размеры поперечного сечения (полосы, пленки, шланги, трубы и др.), применяют методы экструзии, каландрирования, экструзокаландрирования, экструзионно-раздувного формования. При этом подача перерабатываемого материала может быть как шнековой, так и плунжерной, шнек-плунжерной.

Плунжерная обработка материала (рис. 25) заключается в загрузке определенной дозы материала в рабочий цилиндр, создание соответствующего

температурного режима обработки и выдавливания материала через литьевое отверстие (фильер), имеющее соответствующую форму профиля изготавливаемого изделия (рис. 26). На выходе литьевого отверстия устанавливают обрезающий механизм. Готовые изделия обрезаются на требуемую длину, подвергаются соответствующей обработке и укладываются в лотки.

При шнековой подаче материала процесс экструзии осуществляется непрерывно. Пример изготовления труб этим методом представлен на рис. 27. Материал загружается в бункер и с помощью вращающегося шнека передвигается вдоль обогреваемого цилиндра к фильеру, имеющему соответствующий профиль. Формирование внутреннего диаметра трубы осуществляется с помощью дорна, а внешнего – калибрующим мундштуком. Для уплотнения материала по мере продвижения к фильеру и создания необходимого давления шнек изготавливается или с переменным шагом, уменьшающимся по ходу перемещения материала, или с переменным живым сечением, уменьшающимся в том же направлении. Выходящее из экструдера изделие охлаждается и наматывается на барабан или скручивается в бухту.

Для изготовления труб большого диаметра используются экструзионно-обмоточные станки, в которых выходящая из экструдера гладкая или профилированная лента наматывается по спирали на вращающийся цилиндр и затем сваривается внахлест. Сварка может осуществляться как за счет подогрева цилиндра (сплавление полимеров, резины и др.), так и с помощью



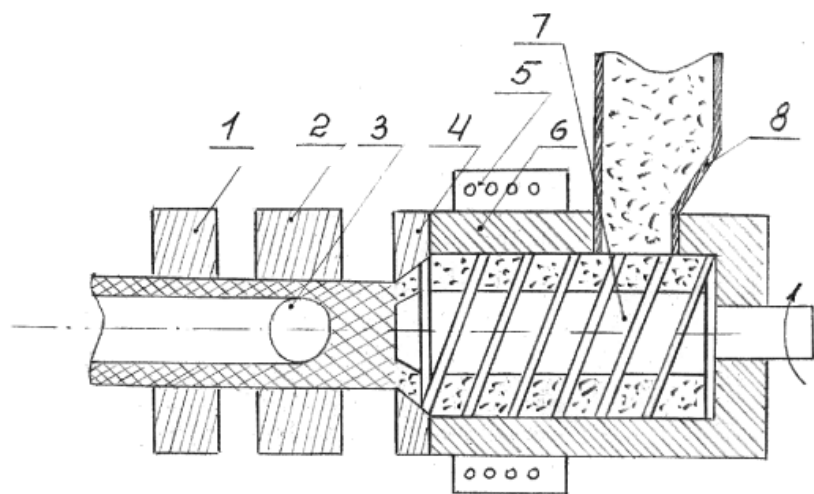


Рис. 27. Схема получения труб методом экструзии:  
 1 – охлаждающее устройство; 2 – калибрующий мундштук;  
 3 – дорн; 4 – фильер; 5 – рабочий цилиндр; 6 – нагреватель;  
 7 – червяк; 8 – бункер

сварочного оборудования. При этом способе в качестве армирующего материала также возможно использование лент на тканевой, сетчатой и других основах.

Для получения тонких пленок используют метод раздува горячей цилиндрической заготовки, поступающей из экструдера или щелевой головки (рис. 28). Внутри трубчатой заготовки под определенным давлением сжатый воздух, деформирующий ее во всех направлениях до определенной толщины, пленка отверждается на воздухе, обжимается валками и поступает на приемный барабан.

Для изготовления многослойных и армированных пленок применяют метод соэкструзии, при котором используется несколько шнековых экструдеров, работающих на одну общую рабочую головку.

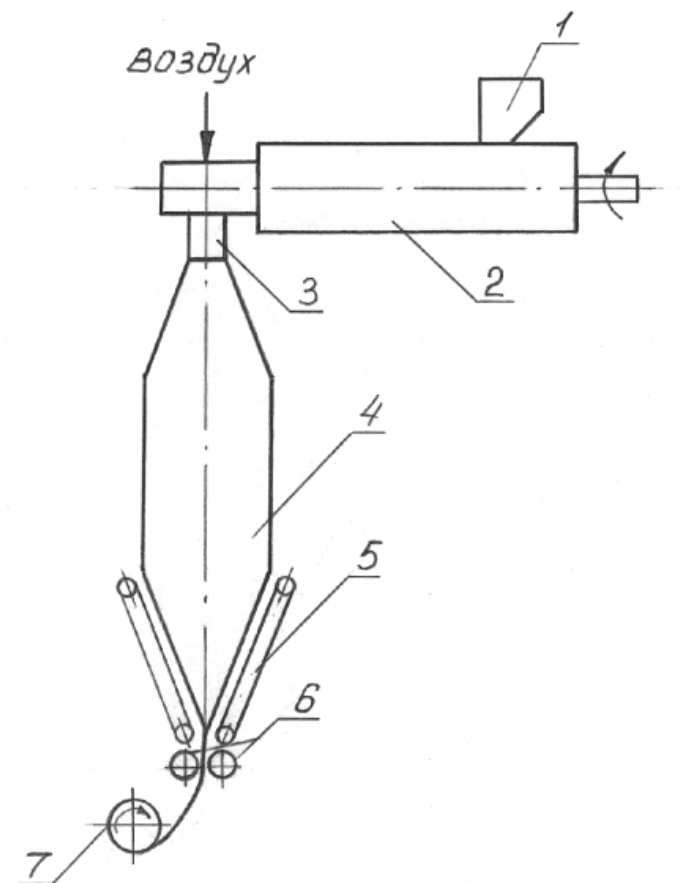


Рис. 28. Схема получения тонких пленок раздувом:  
 1 – бункер; 2 – шнековый экструдер; 3 – щелевая головка;  
 4 – пленка; 5 – бесконечная лента; 6 – обжимные валки;  
 7 – приемный барабан

Метод экструзионно-раздувного формования также используется для изготовления различных емкостей (канистр, фляг, бутылок и др.). Процесс осуществляется в две стадии: на первой изготавливается трубчатая заготовка, на второй – под действием давления воздуха в пресс-форме формируется изделие, после охлаждения готовое изделие извлекается из формы или поступает на вулканизацию (рис. 29).

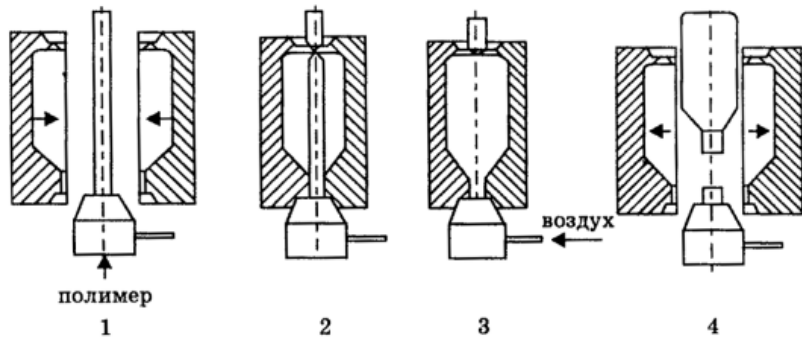


Рис. 29. Изготовление пластмассовых сосудов методом экструзионной раздувки:

- 1 – экструзия трубчатой заготовки; 2 – сдавливание дна; 3 – раздувка сосуда; 4 – выдувка изделия

Формирование листовых материалов, а также изготовление изделий из них осуществляется методами прессования, штамповки, пневмо- и вакуумформования.

При прессовании листовых материалов перерабатываемое сырье или заготовка размещаются между двумя плитами статического пресса. Создается давление, которое выдерживается на протяжении определенного времени в зависимости от вида обрабатываемого сырья. Формы смыкающихся плит имеют форму готового изделия. Для придания изделию требуемых свойств материал подвергают соответствующей термической обработке.

Штамповка материалов осуществляется в прессах динамического (ударного) действия. При этом процесс придания материалу определенной конфигурации и формы может сопровождаться его обрезкой.

Штампы содержат матрицу и пуансон, имеющие соответствующую готовому изделию конфигурацию. В зависимости от прочности обрабатываемой заготовки количество ударов пуансона о материал, находящийся на матрице, может быть различным. Процесс легко автоматизируется.

Пневмо- и вакуумформование применяется для изготовления изделий сравнительно большого размера.

## 10.2. Обработка металлов

Во всех случаях обработки давлением требуемая форма и необходимые размеры изделию (заготовке) придается пластической деформацией

исходной заготовки, имеющей форму слитка или болванки, уже прошедшей предварительную обработку давлением. Таким образом, сущность обработки металла давлением состоит в целенаправленной пластической деформации, придающей ему определенные форму и размеры, в ходе которой разрушается грубозернистая литая структура, устраняются пористость и рыхлость, улучшается металлургическое качество и создается благоприятная ориентировка вновь образовавшихся структурных составляющих металла.

Вследствие благоприятных структурных изменений, происходящих при обработке давлением, металл получает более высокий комплекс прочностных и пластических свойств по сравнению с литыми изделиями. При горячей обработке давлением, когда металл обладает большой пластичностью при малой прочности, его зерна вытягиваются и трансформируются в волокна.

Волокнистое строение металла обеспечивает важные преимущества по сравнению с обычной зернистой структурой, поскольку прочность деформированного металла на разрыв вдоль волокон оказывается значительно выше, чем в поперечном направлении.

То же можно сказать и о сопротивлении срезающим нагрузкам: прочность на срез поперек волокон значительно выше, чем вдоль них. Зная характер нагружения отдельных элементов деталей в эксплуатационных условиях, можно еще при изготовлении заготовок придавать волокнам наиболее выгодную ориентировку, отвечающую характеру нагружения соответствующих элементов деталей, и этим обеспечивать большой запас прочности деталей.

Заготовки для деталей, полученные обработкой давлением, принято называть поковками. Исходными заготовками для крупных поковок, как правило, служат стальные слитки. Заготовки для мелких поковок получают путем разрезки на мерные куски-болванки так называемых прокатных профилей – металлических балок или прутков различной формы поперечного сечения, получаемых прокаткой.

*Прокатка.* Прокатка представляет собой процесс деформирования слитка или иной продолговатой металлической заготовки между двумя вращающимися валками, расстояние между рабочими поверхностями которых меньше высоты заготовки (рис. 30).

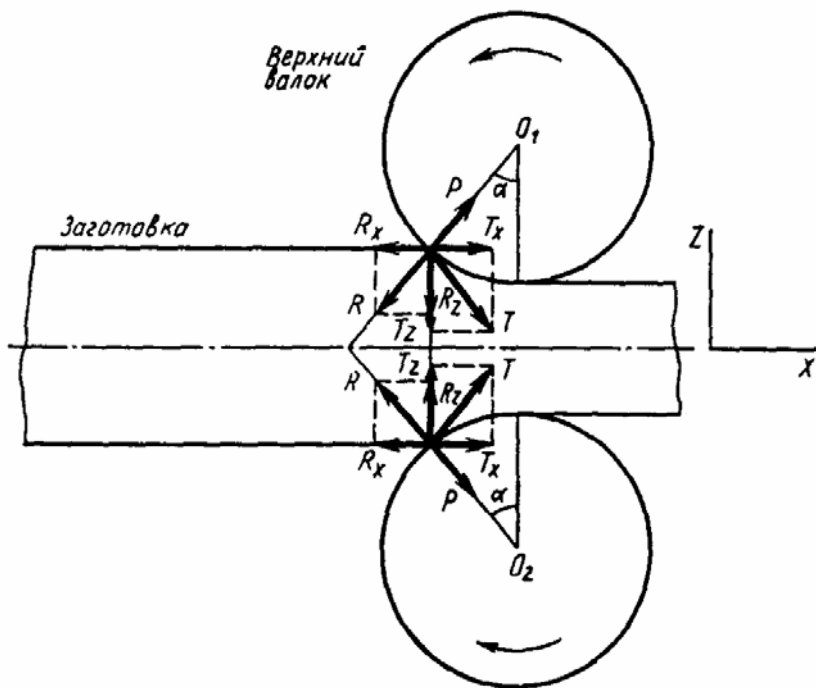


Рис. 30. Схема прокатки с указанием действующих сил

Целью прокатки является получение разнообразной продукции, различающейся профилями и размерами поперечного сечения, а также длинами балок, прутков, и составляющей так называемый сортамент проката. Сортамент стального проката включает следующие пять основных групп (рис. 31):

- *сортной прокат* простого и фасонного профиля. Простой профиль (рис. 31, а) используется для порезки на заготовки, которые идут либо на дальнейшую обработку давлением – ковку или штамповку, либо на механическую обработку для изготовления различных деталей. Фасонный профиль (рис. 31, б) главным образом используется для различных строительных конструкций, включая железнодорожные пути;

- *листовой прокат* делится на толстолистовую сталь толщиной свыше 4 мм и тонколистовую 0,2...3,75 мм;

- *трубы бесшовные* различного диаметра с разной толщиной стенок, разнообразного назначения;

- *специальный прокат* включает в себя вагонные колеса, шпунтовые сваи, автоободья и т.д.;

- *периодический прокат* (рис. 31, в) – прокат с периодически изменяющимся по длине профилем. Он используется в качестве заготовок для штамповки (например, заготовок шатунов автомобильных двигателей) или непосредственно для механической обработки.

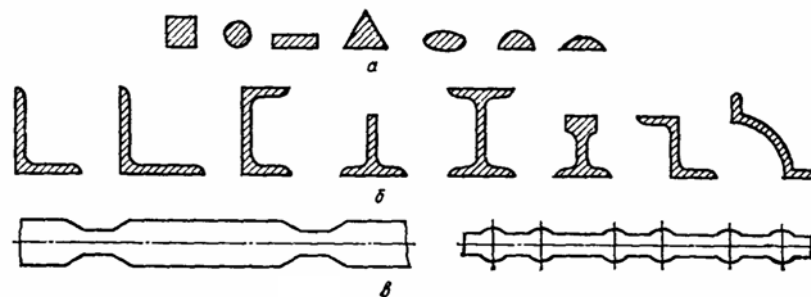


Рис. 31. Сортамент стального проката

Существуют также специально разработанные сортаменты для выпуска проката из цветных металлов и сплавов – меди, алюминия, латуни, дюралю – в виде листов, ленты, труб, прутков и других изделий. Важнейшей особенностью деформации металла при прокатке является получение волокнистой структуры металла с ориентировкой волокон вдоль направления прокатки, т.е. перпендикулярно осям вращения валков.

Это объясняется тем, что при сдавливании сечения заготовки между валками вытяжка металла в основном происходит в направлении наименьшего сопротивления, т.е. в наружную сторону. Деформации и вытяжке в поперечном направлении препятствуют трение о поверхности валков. Так как общая вытяжка металла заготовки складывается из вытяжек его отдельных зерен, то последние должны превратиться в волокна. Заготовка захватывается в рабочее пространство между валками и перемещается силами трения, возникающими между нею и валками (см. рис. 30).

Прокатка металлов осуществляется на прокатных станах. Основными рабочими элементами прокатных станов являются валки, имеющие цилиндрическую форму. Валки размещаются в основной части прокатного стана – рабочей клетки. Рабочая часть валка называется бочкой. Бочки могут быть гладкими или ручьевыми. Первые применяются для прокатки

листов и лент, а вторые – для сортового металла. Ручьи представляют собой кольцевые вырезы на поверхности валка. Совпадающие ручьи верхнего и нижнего валков образуют калибры, с помощью которых сортовому прокату постепенно придаются требуемые профили.

Прокатные станы классифицируются по ряду признаков, основным из которых является род выпускаемой продукции. В связи с этим можно выделить следующие наиболее распространенные виды станов: сортопрокатные для выпуска сортового проката; листовые и полосовые станы горячей прокатки; трубопрокатные станы; станы холодной прокатки стали и цветных металлов (тонколистовые, ленточные, фольгопрокатные и т.д.); деталепрокатные станы для выпуска специального или периодического проката.

*Горячая прокатка стали.* На обжимных станах с диаметром валков  $D=800\text{...}1500$  мм (блюмингах и слябингах) обжимают слитки массой до 35 т и более. Заготовочные станы ( $D=450\text{...}750$  мм) предназначены для прокатки блюмсов на заготовки сечением  $40\times 40\text{...}150\times 150$  мм. На рельсобалочных станах ( $D=750\text{...}950$  мм) осуществляют горячую прокатку рельсов, балок, крупных уголков и других тяжелых профилей.

На крупносортовых станах ( $D=500\text{...}800$  мм) прокатывают круглые и квадратные профили, балки и швеллеры.

Среднесортные профили – квадрат и круг, балки и швеллеры – прокатывают на непрерывных и линейных станах ( $D=300\text{...}500$  мм), состоящих из нескольких клетей дуо.

Мелкосортный профиль – круг, квадрат, катанка, уголок – производят на полунепрерывных и непрерывных станах ( $D=250\text{...}300$  мм). На непрерывных станах скорость прокатки достигает 40 м/с и более.

Для горячей прокатки листов из стали в основном используются непрерывные или полунепрерывные толстолистовые и листовые широкополосные станы, а также широкополосные станы с моталками в печах. Применяются одно-, двух- и многоклетевые дуо-, трио-, квартостаны, а также универсальные станы.

*Холодная прокатка стали.* На непрерывных квартостанах и на реверсивных одноклетевых станах прокатывают листы и ленту для автомобильной и электротехнической промышленности, кровельное железо и другие виды продукции: тонкий (толщиной менее 0,5 мм) и очень тонкие (толщиной менее 0,1 мм) полосы и ленты изготавливают на многовалковых станах. Жесть катают, как правило, в пятиклетевых непрерывных квар-

тостанах. Полученную черную жесть с целью защиты от коррозии подвергают цинкованию, лужению, плакированию (покрытию пластмассами) и другим видам обработки.

*Производство специальных видов проката.* Все большее распространение в промышленности получают гнутые профили, применение которых вместо сварных конструкций в строительстве позволяет экономить до 30% металла. Гнутые профили изготавливают непрерывным способом на многоклетевых роliko-гибочных станах из стального листа, уголков, швеллеров и другого проката. Сложная форма гнутых профилей не позволяет получать их обычными методами прокатки.

Периодический прокат – полосы переменного сечения по длине, заготовки для штамповки деталей с местным утолщением, лопатки, трубы, оси вагонов, шары и др. – получают на станах поперечной прокатки. Его применение дает экономию до 30% металла по сравнению с производством вышеназванных изделий из обычного проката.

*Прокатка цветных металлов и сплавов.* Слитки прямоугольной формы используют для получения полосового и листового проката (из круглых слитков производят проволоку, прутки, трубы). Перед прокаткой поверхностные дефекты слитков удаляют строганием или фрезерованием.

Алюминиевые, медные и никелевые сплавы хорошо прокатываются в холодном и горячем состояниях. Слитки прокатываются в горячем состоянии на прутки или листы. Горячекатаные листы подвергают холодной прокатке, которую ведут с промежуточными отжигами.

Холодная прокатка ленты из алюминиевых сплавов АМц, Д1, Д16 производится из горячекатаных листов около 6 мм. Ленту толщиной до 0,5...0,6 мм катают без промежуточного умягчающего отжига. Заготовками для холодной прокатки лент из меди и латуни Л62 служат свернутые в рулоны полосы толщиной 5...6 мм, полученные горячей прокаткой из слитков. Отожженные и протравленные рулоны прокатываются на специальных станах до толщины 0,01...0,2 мм в течение четырех-пяти операций холодной прокатки, чередующихся умягчающими отжигами и травлением для удаления окалины.

Тонкие листы и ленту из меди или латуни получают холодной прокаткой из горячекатаных заготовок толщиной 10...15 мм с предварительно удаленными фрезерованием поверхностными дефектами. Прокатку ведут до требуемой толщины в несколько обжатий, применяя промежуточные отжиги при 450...800°C для восстановления пластичности металла.