

мощью припоя. Пластинки в режущем и буровом инструменте крепят либо с помощью припоя, либо механическим способом. Характеристика наиболее распространенных припоев приведена в табл. VI.31.

Для предохранения поверхности гнезда и пластинок твердых сплавов от окисления и лучшего смачивания спаиваемых поверхностей применяют флюсы следующих составов: 1) 100% буры (основной вид флюса); 2) 50% буры; 50% борной кислоты (при использовании латунного припоя); 3) 57% борной кислоты; 43% фтористого кальция (при использовании серебряного припоя).

Библиографический список

Бельский Е. И. Стойкость кузнечных штампов. Минск, «Наука и техника», 1975. 238 с. с ил.

Геллер Ю. А. Инструментальные стали. М., «Металлургия», 1975. 588 с. с ил.

Горюнов И. И. Прессформы для литья под давлением. Л., «Машиностроение», 1973. 255 с. с ил.

Гудремон Э. Специальные стали. Т. 1, 2. М., «Металлургия», 1966, 736 с. и 1242 с.

Гуляев А. П., Малинина К. А., Саверина С. М. Инструментальные стали. Справочник. М., «Машиностроение», 1975. 272 с.

Инструментальные стали. Справочник. М., «Металлургия», 1977. 168 с. с ил. Авт.: Л. А. Позняк, С. И. Тишаев, Ю. М. Скрынченко и др.

Каменичный И. С. Спутник термиста. Киев, «Техніка», 1969. 230 с. с ил.

Марочник стали и сплавов. М., НИИ-маш, 1971. 482 с. с ил.

Материалы в машиностроении. Справочник. Т. 2. Под ред. И. В. Кудрявцева. М., «Машиностроение», 1967. 496 с. с ил.

Мендельсон В. С., Рудман Л. И. Технологии изготовления штампов и прессформ. М., «Машиностроение», 1971. 224 с. с ил.

Охрименко Я. М., Антоненко Л. И., Ми-

ронов Л. Н. Штампы для горячей обработки металлов и их эксплуатация. М., «Машиностроение», 1971. 212 с. с ил.

Позняк Л. А. Штамповые стали для холодного деформирования. М., «Металлургия», 1966. 147 с. с ил.

Попов А. А., Попова А. Е. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита. М.—Свердловск., Машгиз, 1961. 432 с. с ил.

Рогалев А. М., Согришин Ю. П. Влияние технологии горячей штамповки и свойств штамповых сталей на износ и стойкость штампов (обзор), серия С-Х-3. М., НИИмаш, 1971. 90 с. с ил.

Справочник машиностроителя. Т. 6. Под ред. С. А. Сатяла. М., «Машиностроение», 1964. 540 с. с ил.

Справочник металлста. Т. 2. Под ред. А. Г. Рахштадта и В. А. Брострема. М., «Машиностроение», 1976. 718 с. с ил.

Тепловые процессы при обработке металлов и сплавов давлением. М., «Высшая школа», 1973. 631 с. с ил. Авт.: Н. И. Яловой, М. А. Тылкин, П. И. Полухин, Д. И. Васильев.

Третьяков В. И. Металлокерамические твердые сплавы. М., Metallurgizdat, 1962. 592 с. с ил.

Тылкин М. А. Повышение долговечности деталей металлургического оборудования. М., «Металлургия», 1971. 608 с. с ил.

Филинов С. А., Фиргер И. В. Справочник термиста. Л., «Машиностроение», 1975. 352 с. с ил.

Чапурова П. Н., Чернявский К. С. Структура спеченных твердых сплавов. М., «Металлургия», 1975. 198 с. с ил.

Штамповые стали и режимы их обработки для инструмента горячей и холодной объемной штамповки (Методические указания). Воронеж, ЭНИКмаш, 1971. 60 с.

Штампы для горячего деформирования металлов. М., «Высшая школа», 1977. 496 с. с ил. Авт.: М. А. Тылкин, Д. И. Васильев, А. М. Рогалев и др.

Глава VII

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СО СКВОЗНЫМ ПРОГРЕВОМ ИЗДЕЛИЙ В ПЕЧАХ

1. Нагрев при термической обработке

Температура нагрева и зерно стали

Основная задача нагрева стали при термической обработке со сквозным прогревом деталей (отжига, нормализации, закалки)— перевод исходной структуры в аустенит и получение возможно более мелкого зерна. Чем больше скорость нагрева деталей, тем при более высоких температурах происходит образование аустенита. Температура нагрева в области температур существования

стабильного аустенита в значительной мере определяет рост зерна. Чем выше эта температура, тем интенсивнее растет зерно аустенита.

Для характеристики поведения стали при нагреве в отношении изменения размера зерна различают три вида зерна аустенита: 1. Начальное зерно. Под начальным зерном понимают аустенитное зерно, формирующееся непосредственно при превращении перлита в аустенит (в момент окончания превращения).

2. Наследственное (природное) зерно аустенита. Различают наследственно мелко-

зернистую и наследственно крупнозернистую сталь. Интенсивный рост зерна наследственно мелкозернистой стали отмечается лишь при сильном перегреве выше точки A_{c3} для доэвтектоидных сталей и выше точки A_{c1} для заэвтектоидных сталей; быстрый рост зерна наследственно крупнозернистой стали происходит сразу же при повышении температуры выше критических точек A_{c1} и A_{c3} . Наследственное зерно определяется способом раскисления и составом стали. Стали, раскисленные алюминием, как правило, наследственно мелкозернистые. Наследственное зерно стали определяет технологию термической обработки изделий. Наследственно мелкозернистая сталь менее чувствительна к перегреву, поэтому она имеет более широкий интервал температур нагрева при термической обработке.

3. Действительное зерно. Под действительным зерном аустенита понимают зерно, полученное при нагреве стали до той или иной температуры. Действительное зерно аустенита определяет и величину зерна перлита или феррита. Свойства стали зависят от величины действительного зерна. Величина зерна аустенита мало влияет на свойства, определяемые при испытаниях на статическое растяжение (σ_b , $\sigma_{0,2}$, δ , ψ) и твердость, но с ростом зерна существенно снижается ударная вязкость, особенно при высокой твердости (после закалки и низкого отпуска), уменьшается работа распространения трещины и повышается порог хладноломкости. Чем крупнее зерно, тем сталь более склонна к образованию закалочных трещин и деформациям. При одинаковой твердости сталь с крупным зерном лучше обрабатывается резанием.

Выявление зерна аустенита производят по стандартной методике (ГОСТ 5639—65). Балл по зерну устанавливают под микроскопом при увеличении в 100 раз путем сравнения видимых на шлифе зерен с эталонными.

Температура отжига, нормализации и закалки большинства конструкционных и многих инструментальных сталей устанавливается несколько выше A_{c3} (доэвтектоидные стали) или A_{c1} (заэвтектоидные стали) (см. гл. III). Чрезмерное повышение температуры связано с ростом зерна аустенита и поэтому ведет к снижению комплекса механических свойств, особенно к увеличению хрупкости. Для многих высоколегированных сталей температура нагрева под закалку (аустенитизации) значительно превышает критические точки A_{c1} и A_{c3} и определяется температурой растворения карбидов в аустените и получения нужной степени легированности γ -твердого раствора. Это повышение температуры не сопровождается перегревом, так как замедленно растворяющиеся и нерастворенные карбиды тормозят рост зерна аустенита. Так, например, быстрорежущие стали нагревают под закалку до очень высоких температур (1225—1290° С). Лишь при таком нагреве растворяется достаточное количество специальных карбидов и аустенит в предельной степени насыщается легирующими элементами, но зерно при этом остается мелким.

Продолжительность нагрева и выдержки

Продолжительность нагрева стальных изделий до заданной температуры или скорость нагрева зависят главным образом от температуры нагрева, степени легированности стали, конфигурации изделий, мощности и типа печи, величины садки, способа укладки изделий и других факторов. В табл. VII.1 представлены ориентировочные нормы продолжительности нагрева стальных изделий до заданной температуры.

При расчетах продолжительности нагрева следует принимать во внимание способ укладки изделий. На рис. VII.1 приведены значения коэффициента времени нагрева изделий $K_{расп}$, который зависит от расположения изделий в печи.

Продолжительность выдержки изделий

Расположение изделий	$K_{расп}$
	1
	1
	2
	1,4
	1,3
	1
	1,4
	4
	2,2
	2,0
	1,8

Рис. VII.1. Зависимость коэффициента продолжительности нагрева $K_{расп}$ от расположения изделий в печи (d — диаметр или сторона квадрата)

Таблица VII.1

Нормы продолжительности нагрева стальных изделий

Наименование агрегата	Температура нагрева, °C	Продолжительность нагрева на 1 мм диаметра изделия, с	
		из углеродистой стали	из легированной стали
Пламенная печь	800—900	60—70	65—80
То же, при упаковке изделий в ящики	800—900	90—100	120—150
Электропечь	770—820	60—65	70—75
	820—880	50—55	60—65
Соляная ванна	770—820	12—14	18—20
	820—880	10—12	16—18
	1240—1310	6—8	8—10
Свинцовая ванна	770—820	6—8	8—10
	820—880	5—7	7—8

Таблица VII.2

Продолжительность выдержки изделий в электропечах и соляных ваннах при температуре закалки

Условная толщина изделия, мм	Продолжительность выдержки, мин	Условная толщина изделия, мм	Продолжительность выдержки, мин
<i>Выдержка в электропечах *</i>			
20	20	65	65
25	25	70	70
30	30	75	75
35	35	80	80
40	40	85	85
45	45	90	90
50	50	95	95
55	55	100	100
60	60	105	105
<i>Выдержка в соляных ваннах **</i>			
5	4	30	13
7	5	35	14
10	6	40	16
15	8	45	18
20	9	50	21
25	11	55	24

* Продолжительность выдержки взята из расчета 1 мин на 1 мм условной толщины.

** Продолжительность выдержки взята из расчета 2,5 мин+0,3 мин на 1 мм условной толщины.

Таблица VII.3

Продолжительность выдержки изделий в электропечах и соляных (селитровых) ваннах при отпуске или низкотемпературном отжиге

Условная толщина изделия, мм	Продолжительность выдержки, мин, при температуре, °C			Условная толщина изделия, мм	Продолжительность выдержки, мин, при температуре, °C		
	<300	300—400	>400		<300	300—400	>400
<i>Выдержка в электропечах *</i>							
20	140	40	30	65	185	85	75
25	145	45	35	70	190	90	80
30	150	50	40	75	195	95	85
35	155	55	45	80	200	100	90
40	160	60	50	85	205	105	95
45	165	65	55	90	210	110	100
50	170	70	60	95	215	115	105
55	175	75	65	100	220	120	110
60	180	80	70	105	225	125	115
<i>Выдержка в соляных ваннах **</i>							
1	120	15—25	3	25	120	15—25	13
3	120	15—25	4	30	120	15—25	15
5	120	15—25	5	35	120	15—25	17
7	120	15—25	6	40	120	15—25	19
10	120	15—25	7	45	120	15—25	21
15	120	15—25	9	50	120	15—25	23
20	120	15—25	11	55	120	15—25	25

* Продолжительность выдержки при температуре отпуска ниже 300° C взята из расчета 2ч+1 мин на 1 мм условной толщины, при 300—400° C 20 мин+1 мин на 1 мм условной толщины, при температуре отпуска свыше 400° C 10 мин+1 мин на 1 мм условной толщины.

** Продолжительность выдержки при температуре отпуска ниже 300° C взята из расчета 120 мин, при 300—400° C 15—25 мин, при температуре отпуска свыше 480° C 3 мин+0,4 мин на 1 мм условной толщины.

Таблица VII.4

Продолжительность цикла термической обработки стальных и чугунных отливок

Материал	Вид термической обработки	Пределы температуры нагрева печи, °С	Форма и толщина массивных частей отливок, мм	Продолжительность (без учета времени на загрузку отливок), ч	
				всего	в том числе продолжительность работы топки
Низкоуглеродистые стали	Нормализация	890—920	≤100	12—18	8—12
			>100	19—25	13—17
Высокоуглеродистые стали	То же	860—880	≤100	10—15	8—13
			>100	16—21	14—18
	Отпуск	580—650	≤100	12—16	6—11
			>100	14—23	9—16
Низколегированные стали	Отжиг	870—890	≤100	18—31	15—26
			>100	27—41	22—34
	Нормализация	880—900	≤100	10—15	8—13
			>100	16—21	14—18
	Отпуск	520—650	≤100	15—22	12—17
			>100	20—27	15—20
Среднелегированные стали	Отжиг	860—880	≤100	22—31	19—26
			>100	31—41	25—34
	Нормализация	870—890	≤100	12—15	10—13
			>100	17—21	15—18
	Отпуск	520—650	≤100	19—25	16—20
			>100	24—31	19—24
Высокомарганцовистая сталь 110Г13Л и ее аналоги	Закалка в воде	1050—1100	≤100	17	17
			>100	24	24
Серый чугун	Низкотемпературный отжиг	520—570	≤100	17—20	13—17
			>100	18—21	13—17
Высокопрочный чугун	Отжиг	900—950	Простая конфигурация	19—27	14—20
				Сложная конфигурация	24—30
	Отпуск (для снятия напряжений)	500	Простая конфигурация		12—16
				Сложная конфигурация	21—25
Ковкий чугун	Отжиг в элеваторных электропечах	950—970	≤100		31—39
			>100	37—45	29—36
	Отжиг в туннельных печах	1010—1030	—	39—58	38—57
			Отжиг в камерных печах	900—950	—
Чугунные кокильные отливки	Отжиг	850—950			—

Примечания: 1. В цикл термической обработки входит: время, затрачиваемое на нагрев, выдержку, охлаждение в печи, охлаждение на воздухе при продолжении режима термической обработки в той же печи и на окончательное охлаждение на воздухе, которое в зависимости от условий составляет от 1 до 5 ч. 2. Продолжительность цикла термической обработки разностенных отливок, а также отливок сложной конфигурации принимается ближе к верхнему пределу. 3. Режим термической обработки высоколегированных сталей устанавливается в каждом конкретном случае в зависимости от марки стали.

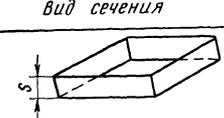
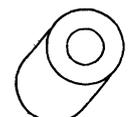
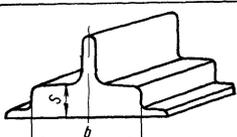
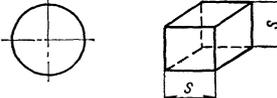
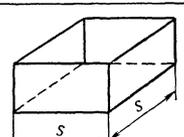
Вид сечения	Коэффициенты формы
	2,0
	4—для длинных труб или труб с закрытыми концами; 2—для коротких труб с открытыми концами
	При $b=2s-1,5$ При $b=3+4s-1,75$ При $b>4s-2$
	0,75
	1,0
	1,5
	1,5

Рис. VII.2. Коэффициенты формы изделий

при данной температуре, так же как и продолжительность нагрева, зависит от многих факторов, влияющих на процессы растворения избыточных фаз, и структурных превращений, происходящих в стали. В табл. VII.2—VII.3 приводится продолжительность выдержки изделий в зависимости от их условной толщины¹ (продолжительность выдержки исчисляется с момента достижения изделиями заданной температуры). Условная толщина изделия (стенки) определяется как произведение ее фактической средней толщины на коэффициент формы, зависящий от соотношения между нагреваемой поверхностью и объемом изделия. На рис. VII.2 приведены коэффициенты формы для изделий различных сечений.

Продолжительность цикла термической обработки стальных и чугуновых отливок указана в табл. VII.4.

При нагреве под закалку, нормализацию и отпуск для повышения производительности агрегатов посадку крупных поковок в печь осуществляют при температуре термической обработки. При этом руководству-

ются продолжительностью выравнивания температуры, устанавливаемой в зависимости от максимального сечения поковок:

Диаметр поковки,
мм 400 500 600 700

Продолжительность выравнивания температуры при нагреве поковок, ч:

под закалку . . 4,8 6,3 8,1 8,8
под отпуск . . 5 7,5 10,5 12,6

Диаметр поковки,
мм 800 900 1000

Продолжительность выравнивания температуры при нагреве поковок, ч:

под закалку . . 9,8 13,6 15,6
под отпуск . . 15 17,5 20

Для практического определения продолжительности нагрева стальных изделий сложной формы при всестороннем нагреве иногда пользуются формулой, предложенной Е. А. Смольниковым:

$$\tau_{\text{общ}} = K_1 \frac{V}{F} K_{\phi} K_K + \tau_{\text{и.в.}}$$

где $\tau_{\text{общ}}$ — общая продолжительность нагрева, включающая продолжительность сквозного прогрева до заданной температуры (определяется формой и размером изделий, их расположением, типом печи, составом и свойствами стали и т. д.) и продолжительность изотермической выдержки при данной температуре (не зависит от формы и размера изделия и определяется только составом и исходным состоянием стали);

K_1 — коэффициент, зависящий от состава и физических свойств нагреваемой стали, температуры и способа нагрева (значения коэффициента K_1 представлены в табл. VII.5);

V/F — характеристический размер, представляющий собой отношение объема нагреваемого тела V к его поверхности F . Эту величину определяют по формулам, приведенным в табл. VII.6, или по специальной номограмме;

K_{ϕ} — критерий формы табл. VII.6);

K_K — коэффициент конфигурации нагреваемого изделия, величина которого для инструментов различного типа находится в пределах от 0,46—0,65 (круглые плашки, червячные, резьбовые

¹ Для высоколегированных сталей данные, приведенные в табл. VII.2—VII.3, неприемлемы. Для них продолжительность выдержки устанавливают в зависимости от особенностей диффузионных процессов и структурных превращений, протекающих в каждой конкретной стали.

Таблица VII.5

Значения коэффициента K_1 для различных сталей

Температура нагрева, °С	K_1 , мин/см	Температура нагрева, °С	K_1 , мин/см	Температура нагрева, °С	K_1 , мин/см
Углеродистые и низколегированные* стали (45, 50, У8, У10, 40Х, 50Х, 9Х, ХХГР)		Быстрорежущие** стали (Р18, Р12Ф2, Р12, Р9 и др.)		Высокохромистые*2 и среднелегированные стали (5ХВСГ, Х12, Х6ВФ и др.)	
800	12,5	1200	5,4	1000	8,0
850	11,3	1220	5,1	1050	7,4
870	10,8	1240	4,9	1100	6,7
900	10,0	1250	4,8	1150	6,0
950	8,8	1275	4,4		
		1300	4,1		
		560*3	10,3		

*1 Предварительный подогрев до 400—500°С и окончательный нагрев в расплаве, содержащем 78% BaCl₂ и 22% NaCl.*2 Предварительный подогрев до 860—880°С и окончательный нагрев в расплаве 100% BaCl₂.*3 Нагрев при отпуске в расплаве KNO₃.

Таблица VII.6

Формулы для определения V/F и K_Φ

Тело	V/F	K_Φ
Шар	$D/6$	1
Куб	$D/6$	1,4
Длинный сплошной цилиндр	$\frac{DH}{4H+2D}$	$1+0,2 \frac{D}{H}$
Прямая призма с основанием в виде любых правильных многогранников	$\frac{DH}{4H+2D}$	$1+0,2 \frac{D}{H} + \frac{1}{N+1}$
Полый цилиндр (кольцо)	$\frac{(D-d)H}{4H+2(D-d)}$	$1+0,2 \frac{H}{D-d}$
Пластина (параллелепипед)	$\frac{ABC}{2(AB+AC+BC)}$	$1+0,2 \left(\frac{C}{B} + \frac{C}{A} \right)$

Примечание. В таблице приняты следующие обозначения: D — диаметр (диаметр вписанного круга), см; d — внутренний диаметр, см; A, B, C — габаритные размеры, см; N — число граней; H — толщина (высота) изделия, см.

насадные и торцовые насадные фрезы) до 0,85—1 (резьбонакатные ролики, ножи, плоские плашки, цилиндрические фрезы и все «гладкие тела», не имеющие канавок);

$\tau_{и,в}$ — продолжительность изотермической выдержки при заданной температуре; ее величина должна быть минимальной, но обеспечивать завершение фазовых превращений в стали и необходимую концентрацию углерода и легирующих элементов в аустените. Величина $\tau_{и,в}$ для углеродистых сталей (45, 50, У7, У8, У10, У13) составляет 1 мин, для легированных сталей (40Х, 50Х, 11Х, Х, ХВГ и др.) 1,5—1,9 мин, для высокохромистых (Х12, Х12Ф1) 3,1—3,2 мин, для быстрорежущих Р9, Р12, Р18 3,1—3,7 мин.

В качестве примера в табл. VII.7—VII.10 указана продолжительность нагрева отдельных видов инструмента под закалку.

Нагревающие среды

Для нагрева изделий часто применяют смеси, состав которых представлен в табл. VII.11. При правильном выборе состава смеси и тщательном раскислении ванны в них обеспечивается хорошая защита от окисления и обезуглероживания.

Помимо смесей солей, приведенных в табл. VII.11, хорошие результаты обеспечиваются при применении смесей солей, разработанных Всесоюзным научно-исследовательским инструментальным институтом и содержащих фтористый магний; они обеспечивают отсутствие обезуглероживания поверхности инструмента при нагреве его под закалку в соляных ваннах. Для температур 1000—1300°С рекомендуются соли БМ-5, содержащие 95% хлористого бария и 5% фтористого магния. Для более низких температур (780—900°С) рекомендуются соли БНМ-2, состоящие из 68% хлористого бария, 30% хлористого натрия (поваренной соли) и 2% фтористого магния.

В Институте электросварки им. Е. О. Па-

Таблица VII.7

Продолжительность нагрева метчиков под закалку

Диаметр метчиков, мм	Число одновременно нагреваемых метчиков	Продолжительность нагрева, мин, метчиков из стали	
		быстрорежущей	углеродистой и среднелегированной*
2	15—20	0,25—0,27	0,5—0,56/2—3
3	10—15	0,31—0,35	0,65—0,75/3—4
6	8—10	0,65—0,8	1—1,3/4—6
8	8—10	0,8—1,0	1,5—1,8/6—7
10	8—10	1—1,1	2—2,2/7—8
12	6—8	1,4—1,5	2,4—2,6/9—10
14	6—8	1,5—1,6	3,1—3,3/10—11
18	6—7	2—2,2	4—4,2/13—14
20	4—5	2,2—2,4	4,3—4,5/15—16
24	3—4	2,4—2,6	5,3—5,5/18—20

* Числитель — нагрев в соляной ванне, знаменатель — в камерной печи.

Таблица VII.8

Продолжительность нагрева резцов из быстрорежущей стали под закалку

Размер стороны сечения резца, мм	Число одновременно нагреваемых резцов (в связке на поддоне), мм	Продолжительность нагрева, мин	
		в высокотемпературной соляной ванне	в камерной печи
10	6—8	1,2—1,5	2,5—3
12	6—7	1,5—2,0	3—4
16	5—6	2—2,5	4—5
20	3—5	2,5—3,0	5—6
25	2—4	3,2—4,0	6—8
30	2—3	4—5	8—10

Таблица VII.9

Продолжительность нагрева цилиндрических фрез под закалку

Диаметр, мм	Ширина, мм	Число одновременно нагреваемых фрез	Продолжительность нагрева, мин, фрез из стали	
			быстрорежущей	среднелегированной
40	50	2	1,1—1,2/2,2—2,4	2,2—2,4/10—11
50	60	2	1,4—1,5/2,8—3,0	2,8—3/12—13
60	60	2	1,8—2/3,4—4,0	3,6—4/14—16
75	75	1	2,6—2,8/5,2—5,6	5,2—5,6/18—26
90	100	1	3,8—4/7,6—8,0	7,6—8/22—28

Примечание. Числитель — нагрев в соляной ванне, знаменатель — в камерной печи.

Таблица VII.10

Продолжительность нагрева сверл под закалку

Диаметр сверл, мм	Число одновременно нагреваемых сверл	Продолжительность нагрева, мин, сверл из стали	
		быстрорежущей	углеродистой и среднелегированной
3—5	10—12	0,15—0,25/0,45—0,5	0,55—0,75/3—4
6—8	6—8	0,45—0,5/0,85—1,0	0,9—1,1/5—6
10—12	4—5	0,65—0,8/1,4—1,6	1,3—1,5/7—8
14—16	3—4	0,85—1/1,6—2,0	1,8—2,2/10—12
18—20	2—3	1,0—1,3/2,0—2,5	2,3—2,6/14—15
22—25	2	1,3—1,5/2,5—3,0	2,9—3,2/16—18
26—30	1	1,6—2/3,2—4,0	3,5—3,8/20—22
33—37	1	2,4—2,8/4,8—5,6	4,5—5/24—26

Примечание. Числитель — нагрев в соляной ванне, знаменатель — в камерной печи.

Таблица VII.11.

Смеси, применяемые в качестве нагревающих и охлаждающих сред

Состав ванны, % (по массе)	Температурный интервал применения, °С
<i>Состав соляных ванн</i>	
100% поваренной соли	850—920
100% хлористого калия	820—920
56% хлористого калия + 44% поваренной соли	700—900
(50—78)% хлористого бария + (50—22)% поваренной соли	700—950
80% хлористого бария + 20% поваренной соли	815—1100
(50—80)% хлористого бария + (50—20)% хлористого калия	680—1060
100% сильвинита	790—900
60% сильвинита + 40% хлористого калия	750—900
50% сильвинита + 50% углекислого натрия (соды)	700—850
70% сильвинита + 30% хлористого бария	750—900
50% хлористого кальция + 50% хлористого бария	650—900
39% фтористого бария + 61% хлористого калия	650—900
17% фтористого бария + 83% хлористого бария	900—1100
50% углекислого калия + 50% поваренной соли	600—900
65% хлористого бария + 5% поваренной соли + 30% хлористого калия	750—850
65% хлористого бария + 25% поваренной соли + 10% хлористого кальция	700—1000
30% хлористого кальция + 20% поваренной соли + 50% хлористого калия	500—870
45% хлористого калия + 10% поваренной соли + 45% углекислого натрия (соды)	720—900
20% хлористого бария + 27% хлористого кальция + 20% поваренной соли + 33% хлористого калия	550—850
75% хлористого бария + 20% хлористого кальция + 4,5% поваренной соли + 0,5% карбида кремния (карборунда)	860—1060
100% хлористого бария	1020—1320
98% хлористого бария + 2% карбида кремния (карборунда)	1020—1320
95% хлористого бария + 5% кварцевого песка	955—1315
95% хлористого бария + 5% фтористого натрия	950—1350
90% хлористого бария + 10% поваренной соли	950—1300
92% хлористого бария + 5% фтористого кальция + 3% кварцевого песка	955—1315
<i>Состав щелочных ванн</i>	
100% едкого натра	350—700
100% едкого кали	400—650
85% едкого натра + 15% едкого кали	330—600
80% едкого натра + 20% едкого кали	330—600
62% едкого натра + 38% углекислого калия	290—600
77% едкого натра + 15% поваренной соли + 8% хлористого калия	330—600
40% едкого натра + 25% поваренной соли + 35% углекислого натрия (соды)	500—600

тона предложено в качестве среды для нагрева изделий под закалку и нормализацию вместо обычно применяемых смесей хлористых солей использовать шлак. Температура применения шлака 780—1150° С. К преимуществам предложенного шлака АН-ШТ2 относятся: отсутствие окисления, обезуглероживания и разъедания поверхности; небольшая летучесть; возможность внесения в горячую шлаковую ванну холодных и влажных изделий без выбрасывания из нее шлакового расплава, а к недостаткам — пониженная жидкотекучесть, увеличивающая вынос шлака с изделиями по сравнению с хлористыми солями; пониженная скорость нагрева; интенсивное разъедание огнеупорных материалов, что исключает применение шлака в электродных ван-

нах. Более широко применяют нагрев деталей под закалку и нормализацию в пламенных или электрических печах. При этом в результате взаимодействия печной атмосферы с нагреваемой поверхностью изделий наблюдается окисление и обезуглероживание стали. Для предохранения деталей от окисления и обезуглероживания в рабочем пространстве печи вводят защитную газовую среду (контролируемые атмосферы). В табл. VII.12. приведены типы и характеристики установок для приготовления контролируемых атмосфер, а в табл. VII.13 — основные типы контролируемых атмосфер, рекомендуемые для термической обработки деталей из различных сталей и сплавов.

Контролируемые атмосферы представляют собой искусственные газовые атмосферы

Таблица VII.12
Типы и характеристика установок для приготовления контролируемых атмосфер

Обозначение и состав контролируемой атмосферы, % (объемн.)	Тип установки	Производительность, м ³ /ч	Мощность, кВт	Габаритные размеры (ширина, длина, высота), мм
Эндотермическая атмосфера КГ-ВО. Получена путем сжигания природного газа или пропан-бутана при $\alpha=0,25$ в присутствии катализатора. Состав, %: при использовании природного газа 20 CO, 40 H ₂ , ≤ 1 CH ₄ , ≤ 1 CO ₂ , остальное N ₂ , точка росы (+5) ÷ (-5° C); при использовании пропан-бутана 23 CO, 33 H ₂ , остальное N ₂	ЭН-16М02	16	12	1050×1300×2135
	ЭН-16ИЗ	16	15	1300×2400×2550
	ЭН-30ИЗ	30	25	1300×2400×2900
	ЭН-60ИЗ	60	30	1300×2400×2900
	ЭН-60Г-И2	60	—	1550×2400×2900
	ЭН-125М2	125	56	1840×3100×3200
Богатая ПС-06 и бедная ПС-09 экзотермическая атмосфера, неочищенная. Получена путем сжигания природного газа или пропан-бутана: ПС-06 при $\alpha=0,6$; ПС-09 при $\alpha=0,9$. Состав ПС-06, %: 8—12 CO, 4—6 CO ₂ , 9—14 H ₂ , остальное N ₂ , точка росы +20° C; состав ПС-09, %: 1—2 CO, 10—11 CO ₂ , 1,5—3 H ₂ , остальное N ₂ , точка росы +20° C	ЭК-8М1	8	0,6	1010×1170×2205
	ЭК-60М1	60	3,0	1220×2860×2350
	ЭК-125М3	125	3,0	1700×3800×2660
	ЭК-250М2	250	5,5	1850×4700×2650
Богатая ПС-06 и бедная ПС-09 экзотермическая атмосфера, осушенная. Точка росы до минус 40° C	ЭК-60М2	60	18	3130×2860×2620
	ЭК-8М2	8	9,7	1370×2910×2205
Богатая ПСО-06 и бедная ПСО-09 экзотермическая атмосфера с очисткой и осушкой. Точка росы от -40 до -60° C	ЭК-80М3	8	36	1600×5000×2400
	ЭК-600М2	60	25	3450×9250×3200
	ЭК-1250М3	125	70	5000×9000×3800
Атмосфера диссоциированного аммиака ДА и продуктов сжигания диссоциированного аммиака ПСА	ДА-30СМ1	30	25	3400×3400×2040
	ДА-60СМ1	60	48	3810×4200×2600
Очищенный аргон	ИО-6М2	6	29	1200×2800×2050

Примечание. Изготавливает установки Чадыр-Лунгский завод электротермического оборудования.

Таблица VII.13
Основные типы контролируемых атмосфер, рекомендуемые для термической обработки деталей из различных сталей и сплавов

Материал изделий	Виды термической обработки			
	светлый отжиг	светлая нормализация	светлая или чистая закалка	светлое старение, светлый отпуск и светлый низкотемпературный отжиг
Низкоуглеродистые стали	ДА; ПСА-08; ПСО-09	ПСА-0,8; ПСО-09	—	ПСО-09; очищенный азот
Средне- и высокоуглеродистые стали, легированные конструкционные стали	ПСО-06; ПСО-09	ПСО-06; ПСО-09; КГ-ВО	ПСО-06; КГ-ВО	То же
Легированные инструментальные, в том числе быстрорежущие стали	ПСО-06; ПСО-09	ПСО-06; ПСО-09; КГ-ВО	ПСО-06; КГ-ВО	»
Нержавеющие стали	ДА; ПСА-08; вакуум 1·10 ⁻² мм рт. ст.	ДА; ПСА-08	ДА; ПСА-08; вакуум 1·10 ⁻² мм рт. ст.	ПСА-08
Электротехнические стали и трансформаторное железо	ДА; ПСА-08; вакуум 1·10 ⁻³ мм рт. ст.	—	—	—

ры, обычно получаемые в специальных газоприготовительных установках — генераторах из различных видов твердых, жидких и газообразных материалов с последующим сжиганием и очисткой продуктов сгорания от вредных компонентов (серы, аммиака).

При термической обработке нержавеющей стали и жаропрочных сплавов иногда применяют вакуум (10^{-2} — 10^{-3} мм рт. ст.). Недостаток глубокого вакуума при высокотемпературном нагреве — возможность обеднения сплавов легирующими элементами.

2. Охлаждение при термической обработке

Изотермические и термокинетические диаграммы

Скорость охлаждения при термической обработке определяется требуемыми конечной структурой и свойствами стали. Перлитное и промежуточное превращения в зависимости от химического состава стали и условий предварительной обработки протекают с различной скоростью в разных интервалах температур. Поэтому вид изотермических и термокинетических диаграмм превращения переохлажденного аустенита для разных групп сталей различен.

В углеродистых сталях и в сталях, легированных никелем и медью, максимумы скоростей перлитного и промежуточного превращений наблюдаются при близких температурах. Поэтому на диаграмме изотермического превращения виден только один минимум устойчивости переохлажденного аустенита, чаще всего при температурах 500—550°С. При температурах выше этого минимума устойчивости протекает диффузионное перлитное превращение, а при температурах ниже этого минимума — промежуточное (бейнитное) превращение. При непрерывном охлаждении на термокинетической диаграмме для этих сталей отмечается лишь диффузионное перлитное и бездиффузионное мартенситное превращение (рис. VII.3). Получить бейнитную структуру при непрерывном охлаждении углеродистых и других указанных выше сталей

практически не удается. При малых скоростях охлаждения переохлажденный аустенит этих сталей распадается на ферритоцементитную смесь различной степени дисперсности, а при больших скоростях охлаждения образуется мартенсит.

Легирование стали карбидообразующими элементами (хромом, молибденом, вольфрамом и др.) приводит к полному или частичному разделению областей перлитного и промежуточного превращений.

Охлаждение при отжиге

При полном отжиге доэвтектоидных сталей производят медленное охлаждение (см. рис. VII.3, а, кривая 1), во время которого происходит распад аустенита при малых степенях переохлаждения, т. е. при повышенной температуре, с образованием дифференцированной структуры, состоящей из перлита и феррита. По условиям охлаждения различают обычный и изотермический отжиг (см. рис. VII.3, в, кривая 5). Чем выше устойчивость переохлажденного аустенита, тем медленнее должно быть охлаждение при обычном отжиге для обеспечения распада аустенита в верхнем интервале.

Медленное охлаждение, особенно легированных сталей, склонных к отпускной хрупкости, следует проводить до 500—600°С. После распада аустенита в перлитной области дальнейшее охлаждение можно ускорить и выполнять даже на воздухе. Если после отжига должен быть низкий уровень остаточных напряжений, например для отливок или поковок сложной конфигурации, то медленное охлаждение проводят до комнатной температуры.

Скорость охлаждения регулируют, охлаждая изделия в печи с закрытой или открытой дверцей, при полностью или частично выключенном обогреве.

При отжиге доэвтектоидных углеродистых сталей для получения перлитно-ферритной структуры достаточна скорость охлаждения 50—100°С/ч (в зависимости от размеров поковки) до температуры 600°С, а далее охлаждение ведут на воздухе. При отжиге сталей 45Г2, 20Х, 30Х, 35Х, 40Х, 45Х, 15ХР,

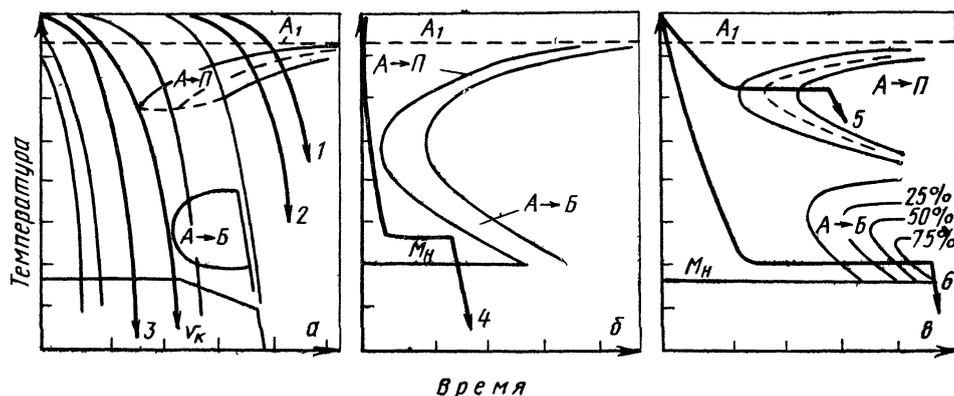


Рис. VII.3. Схемы режимов термической обработки:

а — отжиг (1), нормализация (2) и закалка (3) стали; б — ступенчатая закалка (4); в — изотермический отжиг (5) и изотермическая закалка (6)

15ХФ, 15ХМ, 20ХГ, 20ХМ, 30ХМ, 40ХМ, 12ХН3, 20ХН3, 37ХН3, 12Х2Н2, 20Х2Н2, 12Х2Н4, 38Х2МЮА, 20ХНМ, 40ХНМ, 20Х2Н2М, 30ХН3М и других марок рекомендуется медленное охлаждение со скоростью 15—50° С/ч до температуры 600° С и далее на воздухе. Чем крупнее поковка, тем медленнее должно быть охлаждение при отжиге во избежание возникновения значительных остаточных напряжений. Не следует охлаждать слишком медленно, так как это приводит к образованию крупных скоплений феррита и ухудшению свойств стали после последующей закалки.

При высоком содержании углерода в легированном аустените максимальная скорость его превращения обычно соответствует области перлитного превращения. Перлитному превращению может предшествовать выделение избыточных карбидов. Такая кинетика изотермического превращения переохлажденного аустенита характерна для многих инструментальных сталей, например 9Х, 9ХФ, ХГ, ХВГ, Х12, Х12М, Р12, Р18 и др. Эти стали сравнительно легко отжигаются как при обычном медленном охлаждении от аустенитного состояния, так и при изотермическом режиме. Скорость охлаждения при их отжиге составляет 30° С/ч до температуры 680—700° С и далее на воздухе. Для получения структуры зернистого перлита в этих сталях скорость охлаждения должна быть меньше. В этом случае охлаждение в области температур перлитного превращения должно обеспечить не только распад аустенита на феррито-карбидную смесь, но и достаточную степень коагуляции карбидных частиц. Коагуляция карбидов происходит при охлаждении до 620—650° С, и поэтому последующее охлаждение мало влияет на структуру. Однако во избежание появления высоких остаточных напряжений медленное охлаждение проводят до 550—600° С.

Ускорение охлаждения при нормализации приводит к распаду аустенита при больших степенях переохлаждения, что увеличивает дисперсность феррито-карбидной смеси и повышает количество структуры эвтектоидного типа. Это, естественно, увеличивает прочность и твердость нормализованной стали по сравнению с отожженной. Особенно значительно возрастает твердость легированных сталей при нормализации в том случае, когда во время охлаждения на воздухе образуется мартенсит. В этих сталях при необходимости полной перекристаллизации проводят нормализацию с последующим высоким отпускком. В некоторых низкоуглеродистых высоколегированных сталях, например 18Х2Н4ВА, 18Х2Н4МА, 25Х2Н4М, 35ХН4М, устойчивость аустенита в области температур перлитного превращения столь велика, что экспериментально не обнаруживается. В этих сталях происходят только промежуточное и мартенситное превращения. Поэтому отжиг сталей этого типа невозможен. В данном случае для исправления структуры применяют нормализацию (закалку на воздухе) с последующим высоким отпускком при 660° С для снижения твердости.

Охлаждение при закалке

Структура закаленной стали — мартенсит, поэтому скорость охлаждения при закалке должна быть выше критической, т. е. больше минимальной скорости охлаждения, при которой подавляются диффузионное перлитное и промежуточное превращения и аустенит переохлаждается до мартенситной точки M_n (см. рис. VII.3, а). Критическая скорость закалки, естественно, тем ниже, чем больше устойчивость переохлажденного аустенита. Устойчивость аустенита зависит от его химического состава: все легирующие элементы, кроме кобальта, повышают устойчивость переохлажденного аустенита, особенно в области перлитного превращения. Устойчивость переохлажденного аустенита тем выше, чем крупнее его зерно и чем однороднее его состав.

Неравномерное распределение концентрации углерода и легирующих элементов в аустените и наличие нерастворимых частиц (карбидов, нитридов и др.) снижают устойчивость аустенита и увеличивают критическую скорость закалки. Чем меньше критическая скорость закалки, тем медленнее может быть охлаждение изделий при закалке для получения структуры мартенсита.

Ступенчатую закалку следует применять для уменьшения деформации инструмента (см. рис. VII.3, б, кривая 4). После ступенчатой закалки сталь имеет структуру мартенсита или мартенсита с карбидами (в эвтектоидных сталях).

Часто конструкционные стали для улучшения свойств и уменьшения деформации изделий подвергают изотермической закалке (см. рис. VII.3, в, кривая 6) с выдержкой в нижней зоне температур промежуточного превращения. Структура этих сталей, полученная в результате изотермической закалки, состоит из нижнего бейнита и некоторого количества (10—20%) остаточного аустенита. Такая структура обеспечивает высокую прочность и сопротивление хрупкому разрушению, а также резко уменьшает чувствительность деталей к надрезу. При изотермической выдержке в верхнем интервале промежуточного превращения сохраняется большое количество нерастворившегося аустенита, который при последующем охлаждении превращается в мартенсит. В результате после охлаждения сталь будет состоять из верхнего бейнита, неотпущенного мартенсита и остаточного аустенита. Такой структуре соответствуют низкие механические свойства.

Несмотря на очевидные преимущества, изотермическая и ступенчатая закалки до настоящего времени применяются ограниченно. Это связано с малой охлаждающей способностью расплавов солей и щелочей и отсутствием эффективного способа охлаждения самого расплава. Особенно остро эти недостатки проявляются при изотермической закалке крупногабаритных деталей. Тепло, вносимое закаливаемыми изделиями, приводит к недопустимому повышению температуры ванны.

Оригинальный способ охлаждения расплавов солей и щелочей при ступенчатой и

изотермической закалке предложен и внедрен на Горьковском металлургическом заводе. До закалки или в процессе закалки при помощи специального устройства непосредственно в расплав через зеркало ванны вводят воду, перемешивая при этом расплав сжатым воздухом или механической мешалкой. Такой способ охлаждения расплава позволяет при соответствующей регулировке количества подаваемой воды и соответствующем объеме ванны в процессе закалки даже большой массы металла сохранить температуру расплава постоянной. Кроме того, этот способ дает возможность быстро снижать температуру расплава, что бывает необходимо при переходе на другой режим закалки. В таких ваннах достигаются условия, позволяющие осуществлять быстрое охлаждение в интервале температур перлитного превращения и обеспечивать постоянную температуру при распаде аустенита

Прокаливаемость

Важной характеристикой стали является прокаливаемость. Под прокаливаемостью стали понимают глубину проникновения закаленной зоны. Если действительная скорость охлаждения в сердцевине изделия равна критической скорости закалки или превышает ее, то у стали структура мартенсита обеспечивается по всему сечению и, значит, отмечается сквозная прокаливаемость. Если в сердцевине изделия критическая скорость не будет достигнута, то изделие прокалится лишь на некоторую глубину. В этом случае в сердцевине произойдет диффузионный распад аустенита с образованием структур троостита, сорбита или даже перлита, что приведет к снижению прочности. Чем ниже критическая скорость закалки, тем выше прокаливаемость стали. Объективная характеристика прокаливаемости стали — критический диаметр, под которым понимают наибольшее сечение цилиндра из данной стали, которое в результате закалки получает так называемую полумартенситную троостомартенситную структуру в сердцевине.

Прокаливаемость разных плавок стали одной и той же марки может колебаться в некоторых пределах в зависимости от действительного содержания элементов, от величины зерна и т. д. Поэтому для характеристики марки стали строят не кривую, а полосу прокаливаемости.

Не всегда следует стремиться к сквозной прокаливаемости, так как с повышением концентрации легирующих элементов, увеличивающих устойчивость переохлажденного аустенита, как правило (исключение составляет легирование стали никелем и молибденом), растет склонность к хрупкому разрушению. Следовательно, для изготовления изделий нужно выбирать сталь, обеспечивающую оптимальную прокаливаемость.

Закалочные среды

К закалочным средам предъявляют следующие основные требования: получение заданных физико-механических свойств изделий при закалке и последующем отпуске; высокая охлаждающая способность закалочной среды в интервале температур 650—

550° С (интервал наименьшей устойчивости аустенита) и пониженная охлаждающая способность при температурах ниже 300° С (в интервале мартенситного превращения); отсутствие повреждения (разъедания) поверхности закаливаемых изделий; незначительность и сравнительно невысокая стоимость закалочной среды, а также полная растворимость закалочных сред в процессе промывки изделий после закалки. Ниже приведены перечень и состав [% (по массе)] применяемых закалочных сред:

Вода и водные растворы

Вода
 Водяной душ
 Водоструйная среда
 Водно-воздушная среда
 Водный раствор едких щелочей:
 5% NaOH и KOH
 10% NaOH и KOH
 50% NaOH и KOH
 Водный раствор глицерина:
 20%-ный
 40%-ный
 60%-ный
 40% глицерина + 20% KOH
 Технический глицерин
 Водный раствор NaCl:
 10%-ный
 25%-ный
 Водный раствор марганцевокислого калия
 5—7%-ный
 Водный раствор поливинилового спирта

Масла

Л (велосит)
 Т (вазелин)
 Соляровое
 Индустриальное 12 (веретенное 2)
 Индустриальное 20 (веретенное 3)
 Индустриальное 30 (машинное Л)
 Индустриальное 45 (машинное С)
 Индустриальное выщелоченное 45В
 Индустриальное 50 (машинное СУ)
 Цилиндровое легкое 11
 Цилиндровое легкое 24 (вискозин)
 Цилиндровое тяжелое 38
 Цилиндровое тяжелое 52 (вапор)
 Трансформаторное
 Сурепное
 Авиационное МС-20

Расплавы солей и щелочей

Селитра натриевая (100% NaNO₃)
 Селитра калиевая (100% KNO₃)
 Селитра калиевая + селитра натриевая
 (50% KNO₃ + 50% NaNO₃)
 Едкий натр (100% NaOH)
 Едкое кали (100% KOH)
 Едкий натр + селитра калиевая (70%
 KNO₃ + 30% NaOH)
 Едкий натр + поваренная соль (60%
 NaOH + 40% NaCl)
 Карналит (KCl·MgCl₂·6H₂O)

Расплавленные металлы

Свинец (100%)
 Олово (100%)
 Свинец + олово (37% Pb + 63% Sn)
 Ртуть (100%)

Воздушные среды

Воздух спокойный
 Воздух под давлением

Прочие среды

Псевдоожигженный «кипящий» слой

Металлические плиты

Чаще других для закалки используют кипящие жидкости — воду, водные растворы солей и щелочей, масло. При закалке в этих средах различают три периода: 1) период пленочного кипения, когда скорость охлаждения сравнительно невелика; 2) период пузырькового кипения, наступающий при полном разрушении паровой пленки (рубашки), которое наблюдается при охлаждении поверхности до температуры ниже критической — в этот период происходит быстрый отвод тепла; 3) период конвективного теплообмена, который отвечает температурам ниже температуры кипения охлаждающей жидкости — теплоотвод в этот период происходит с наименьшей скоростью.

Вода и водные растворы. Вода является дешевым и широко распространенным охладителем, применяемым при закалке изделий. Обладая достаточно высокой скоростью охлаждения, в интервале температур перлитного превращения (650—550° С) вода позволяет получать необходимую твердость и прокаливаемость крупногабаритных изделий. Однако большая скорость охлаждения в интервале температур мартенситного превращения вызывает возникновение значительных напряжений в закаливаемых изделиях и, как следствие, деформации и трещинообразование.

Примеси в воде по-разному влияют на охлаждающую способность. Добавка поваренной соли и едких щелочей в количестве 5—10% заметно повышает охлаждающую

способность воды; 5—7%-ный водный раствор марганцевокислого калия уменьшает скорость охлаждения в интервале температур мартенситного превращения (дает среднюю скорость охлаждения между чистой водой и маслом). Некоторые сведения о закаливающей способности воды и водных растворов представлены в табл. VII.14—VII.16.

Водные растворы щелочей, солей и глицерина все шире применяют в термических цехах, так как они обеспечивают интенсивное охлаждение в перлитном интервале температур и замедленное и равномерное охлаждение в интервале температур мартенситного превращения.

Масла. Основным достоинством масел как закалочных жидкостей является небольшая скорость охлаждения в мартенситном интервале температур, что уменьшает опасность возникновения закалочных дефектов и приводит к постоянству закаливающей способности в широком интервале температур среды (20—150° С). Охлаждающая способность закалочных масел зависит от их вязкости (температуры). Повышение температуры закалочного масла уменьшает вязкость и тем самым увеличивает охлаждающую способность. Для промышленных масел 12, 20 и 20В, широко применяемых для закалки деталей, наилучшая охлаждающая способность обеспечивается в интервале температур 40—80° С. Основные свойства закалочных масел приведены в табл. VII.17.

В процессе длительной работы масла становятся непригодными для закалки. Изменение свойств закалочных масел обуславливается процессами окисления при контакте масла с нагретой металлической поверхностью изделий. Оксиды металлов, имеющиеся

Таблица VII.14

Скорость охлаждения стали в различных закалочных средах

Закалочная среда	Скорость охлаждения, °С/с, в интервале температур, °С		Закалочная среда	Скорость охлаждения, °С/с, в интервале температур, °С	
	650—550	300—200		650—550	300—200
Дистиллированная вода . . .	250	200	Водный раствор марганцевокислого калия 5%-ный . . .	450	100
Вода при температуре, °С:			Глицерин	135	175
18	600	270	Эмульсия масла в воде	70	200
28	500	270	Мыльная вода	30	200
55	100	270	Минеральное машинное масло	150	30
74	30	200	Трансформаторное масло	120	25
Вода, насыщенная углекислотой	150	200	Сплав 75% олова и 25% кадмия (температура расплава 175° С)	450	50
Водные растворы 10%-ные при 18° С:			Медные плиты	60	30
едкого натра	1200	300	Железные плиты	35	15
поваренной соли	1100	300	Воздух:		
соды	800	270	спокойный	3	1
серной кислоты	750	300	под давлением	30	10

Т а б л и ц а VII.15

Закаливающая способность водных растворов солей и щелочей

Закалочная среда	Плотность при температуре 15 °С	Интенсивность циркуляции, м/с	Относительная закаливающая способность* при различных температурах ванны, °С					
			20	40	60	80	100	
Раствор, содержащий NaCl, %:								
5	1,036	В покое	1,12	0,91	0,62	0,28	—	
10	1,073	0,9	1,23	—	—	—	—	
15	1,111	0,9	1,27	—	—	—	—	
20	1,151	В покое	1,06	—	—	—	—	
25	1,204	0,9	0,81	—	—	—	—	
Раствор, содержащий NaOH, %:								
2,5	1,029	В покое	1,19	—	—	—	—	
5	1,058	»	1,17	1,04	0,78	0,41	—	
5	1,058	0,9	1,2	1,11	0,9	0,49	0,2	
10	1,113	0,9	1,2	—	—	—	—	
15	1,169	В покое	1,14	—	—	—	—	
15	1,169	0,9	1,11	—	—	—	—	
20	1,223	0,9	1,07	—	—	—	—	
50	1,529	0,9	1,05	—	—	—	—	
Раствор, содержащий CaCl ₂ , %:								
5	1,042	В покое	1,06	—	—	—	—	
10	1,085	»	1,17	—	—	—	—	
20	1,179	»	1,06	—	—	—	—	
Вода	—	В покое	1,00	0,72	0,44	0,18	0,07	
		0,9	1,01	0,73	0,46	0,19	0,08	

* По отношению к чистой воде при температуре 20° С, закаливающая способность которой принята равной единице

Т а б л и ц а VII.16

Коэффициент закаливающей способности воды и сред на ее основе

Охлаждающая среда	Значение коэффициента при температуре, °С	
	720—1050	200
Вода при температуре, °С:		
0	1,06	1,02
20	1,00	1,00
25	0,72	1,11
100	0,044	0,71
Едкий натр*	2,06	1,36
Поваренная соль*	1,96	0,98
Углекислый натрий*	1,38	1,09
Серная кислота*	1,22	1,49
Фосфорная кислота*	0,99	1,07
Водомасляная эмульсия*	0,11	1,33
Мыльная вода	0,077	1,16

* 10%-ные растворы в воде.

на поверхности изделий, вода, присутствующая в масле, ускоряют процессы окисления. Более интенсивно окисление масла протекает при повышенных температурах. Для восстановления закалочных свойств окисленного масла осуществляют его регенерацию или освежение путем добавления свежего масла. К недостаткам закалочных масел следует также отнести необходимость дополнительной операции отмывки и обезжиривания поверхности закаленных изделий, а также пожароопасность

Для сохранения светлой поверхности изделий к минеральным маслам добавляют органические вещества или различные фракции синтетических жирных кислот (типа $C_nH_{2n}O_2$). Лучшие результаты получены при добавлении к минеральному маслу типа 12 около 20% высокомолекулярной кислоты. Эту смесь успешно применяют для закалки изделий, нагреваемых в атмосфере эндогаза. Охлаждающая способность масла с такой присадкой выше, чем у масла без присадок. Высокую охлаждающую способность обеспечивает и смесь трансформаторного и авиационного МС-20 масел в пропорции 3:1. Светлая поверхность изделий сохраняется при применении смеси, содержа-

Таблица VII.17

Свойства закалочных масел

Закалочные масла	Плотность при температуре 18 °С	Температура °С		Вязкость, л, при температуре, °С		Закаливающая способность при температуре 20 °С*
		вспышки	воспламенения	20	40	
Индустриальное 12	0,876	165	—	2,2—2,0	—	0,35
Индустриальное 20	0,881	170	—	2,8—3,2	—	—
Трансформаторное	0,869	155	182	0,218	75	0,17
Машинное	0,909	207	240	1,29	250	0,22
Хлопковое	0,925	321	360	0,795	175	0,36
Оливковое	0,917	310	360	0,80	200	0,37
Парафиновое	0,879	163	188	—	—	0,29
Репсовое	0,874	193	229	—	250	0,22
Пальмовое	—	224	252	0,449	220	0,15
Индустриальное 30	0,864	180	220	4,50	—	—
Индустриальное 45	0,900	190	240	5,5—7	—	—
Индустриальное 50	0,900	200	—	6—7,5	—	0,22
Цилиндровое	—	215	—	—	—	—

* По отношению к воде, закаливающая способность которой принята равной единице.

щей 50% авиационного МС-20 и 50% вазелинового масла, а также при закалке изделий в 100%-ном авиационном масле МС-20.

Иногда в качестве ингибиторов (веществ, повышающих стойкость масел к окислению, а также улучшающих вязкость и другие свойства) применяют аминифенол в количестве 0,01—0,1% от массы масла, ЦИАТИМ-330, ЦИАТИМ-331, ЦИАТИМ-334 и др.

В последние годы применяют и специальные закалочные масла с хорошими антиокислительными свойствами и сопротивлением загущению, характеристика которых приведена ниже:

	МЗМ-16	МЗМ-26	МЗМ-120
Температура вспышки, °С	140	170	230
Вязкость при 50°С, П	2—4	3—4,5	13—19,5
Зольность, %, не более	0,4	0,6	18
Рабочая температура, °С	30—40	80—120	160—200

Таблица VII.18

Интенсивность охлаждения в различных закалочных средах

Движение среды или изделия	Закалочная среда			
	воздух	масло	вода	соленая вода
Без движения	0,02	0,25—0,3	0,9—1,0	2,0—2,1
Слабое	—	0,3—0,35	1—1,1	2—2,2
Средней интенсивности	—	0,35—0,4	1,2—1,3	—
Энергичное	—	0,4—0,5	1,4—1,5	—
Сильное	—	0,5—0,8	1,6—2,0	—
Бурное	—	0,8—1,1	4,0—4,2	5,0—5,2

Примечание. Большее число соответствует более интенсивному охлаждению.

Масла изготавливают из нефти и присадок (ионол и алкилсалицилат кальция), добавляемых для улучшения антиокислительных и моющих свойств масел. Для обеспечения постоянства скорости охлаждения масла используют при определенной рабочей температуре.

Воздух. Воздух применяется в качестве охлаждающей среды при закалке только высоколегированных сталей, имеющих невысокую критическую скорость закалки. Применяются спокойный воздух и воздух под избыточным давлением (3—6 ат). Недостатками этого способа являются ограниченность размеров изделий, подвергаемых закалке, образование пленки окислов, с трудом удаляемой при очистке, и повышенный шум при применении воздуха под давлением.

Водо-воздушные смеси. Эти смеси находят все более широкое применение, особенно при термической обработке крупногабаритных изделий из легированных сталей. Охлаждающая способность водо-воздушной смеси, подаваемой на поверхность закали-

Т а б л и ц а VII.19

Влияние охлаждающей среды на поверхность закаливаемых изделий при нагреве в соляной ванне

Охлаждающая среда	Необходимость очистки изделий после закалки	Вероятность разъедания поверхности	Антикоррозионная стойкость поверхности при отсутствии пассивирования
Вода	Не нужна	Не разъедает	Нестойкая
Масло	Обезжиривание (промывка), при необходимости химическая очистка	То же	Стойкая
Селитра	Химическая очистка	Разъедает при температурах более 500° С	Стойкая, но меньше, чем при охлаждении в масле
Смеси хлористых солей	Химическая очистка (при нагреве в расплаве солей, содержащих BaCl ₂); промывка в горячей воде (при нагреве в расплаве NaCl+KCl)	Не разъедает	Нестойкая (особенно при наличии в среде CaCl ₂)
Смесь селитры с нитритом натрия	Химическая очистка	Не разъедает при температурах менее 300° С	Стойкая, но меньше, чем при охлаждении в масле
Смесь селитры со щелочью	Химическая очистка	Не разъедает при содержании щелочи более 30%	Стойкая, но меньше, чем при охлаждении в масле

Т а б л и ц а VII.20

Составы огнеупорных обмазок и набивок

Наименование	Объемное соотношение сухих компонентов	Крупность помола компонентов, мм	Количество воды на 1 м ³ сухой смеси, л	Назначение
Шамотно-глинистая обмазка	Молотый шамот 75%, огнеупорная молотая глина 25%	≤ 2—3	350—400	Забивка отверстий в деталях, уплотнительная обмазка наружной поверхности кладки сводов термических печей
Асбесто-шамотная обмазка	Молотый шамот 70%, асбест 30%	≤ 1 (асбест, протертый на сите с отверстиями диаметром до 5 мм)	350—400 л водного раствора жидкого стекла (60% жидкого стекла и 40% воды)	Уплотнение неподвижных элементов, выступающих из печи, за исключением токоподводящих
Графито-шамотная обмазка	Молотый шамот 60%, графитовый порошок 40%	≤ 1	То же	То же
Асбесто-шамотно-глинистая набивка	Молотый шамот 50%, асбест 35%, огнеупорная глина 15%	≤ 1	200—300	Уплотнение неподвижных элементов, выступающих из печи, в том числе токоподводящих
Шамотно-глинистая набивка	Молотый шамот 70%, огнеупорная молотая глина 30%	≤ 3	150—200	Забивка отверстий в деталях, пустот и зазоров в шамотной и легковесношамотной кладке печи

Таблица VII.21

Нормы расхода основных и вспомогательных материалов, применяемых при термической обработке

Вид обработки	Материал или состав смеси	Массовая доля, %	Группа сложности деталей	Расход на 1 т обрабатываемых деталей, кг	
1	2	3	4	5	
Нагрев стальных изделий под закалку в соляных ваннах при температуре 800—900° С*	Состав № 1:				
	хлористый калий	100	I II III	15 20 25	
	Состав № 2:				
	хлористый барий	30	I II III	12 18 25	
	хлористый натрий	70	I II III	18 22 25	
	Состав № 3:				
	хлористый барий	50	I II III	10 15 20	
	хлористый калий	50	I II III	10 15 20	
	Раскислители:				
	ферросилиций	2—4 (от массы солей)	—		3
древесный уголь	4—5 (от массы солей)	—		5	
Нагрев стальных деталей под закалку в соляных ваннах при температуре 1200—1300° С*	Хлористый барий	100	I II III	30 40 50	
	Бура (раскислитель)	2—4 (от массы солей)	—	3	
Изотермическое охлаждение стальных изделий в соляных ваннах при температуре 450—550° С*	Углекислый натрий	10	I II III	3 5 6	
	Поваренная соль	45	I II III	15 20 25	
	Углекислый калий	45	I II III	15 20 25	
	Охлаждение стальных изделий в масле при температуре 20—60° С**	Индустриальное масло	100	I II III	10 15 20
		Машинное масло	100	I II III	15 20 30
		Отпуск стальных изделий в селитровой ванне при температуре 300—500° С*	Селитра калиевая	50	I II III
Селитра натриевая	50		I II III	30 40 45	
Отпуск стальных изделий в масле при температуре 200—300° С**	Цилиндровое тяжелое масло 52		100	I II III	15 20 30

1	2	3	4	5
Старение стальных и чугунных изделий в масле при температуре 120—150° С **	Индустриальное масло	100	I II III	15 20 25
	Машинное масло	100	I II III	20 27 35
Обработка стальных изделий холодом при температуре минус 60—70° С	На компрессорных установках:			
	фреон-22	50	I II III	3 5 7
	фреон-23	50	I II III	3 5 7
	В стационарных ваннах:			
	твердая углекислота (сухой лед)	75	I II III	300 350 400
	бензин или ацетон	25	I II III	75 100 125
Промывка	Кальцинированная сода	100	I II III	5 10 15
Дробеструйная очистка	Чугунная дробь диаметром 0,3—1 мм	100	I	10
			II	15
			III	20
Пескоструйная очистка	Чугунный песок (0,3—0,5 мм)	100	I	25
			II	30
			III	35

Примечание. Нормы учитывают конструктивные особенности и конфигурацию термически обрабатываемых деталей, поэтому детали по сложности разбиты на три группы: I — изделия плоской формы с отверстиями (вырезами), составляющими до четверти общей поверхности изделий; II — изделия, имеющие рельефную поверхность, и плоские изделия с отверстиями (вырезами), составляющими до половины общей поверхности изделия; III — изделия сложной конфигурации, а также с отверстиями (вырезами), составляющими более половины общей поверхности изделия.

* Нормы приведены для нагрева изделий с приспособлениями; при нагреве изделий без приспособлений нормы следует уменьшить на 30%.

** Нормы приведены для обработки изделий без приспособлений; при обработке изделий с приспособлениями нормы следует увеличить на 50%.

ваемых изделий через форсунки специальным наконечником (для увеличения угла распыления), может изменяться в широких пределах и зависит от количества расходуемой воды, интенсивности подачи охлаждающей смеси и расстояния от форсунок до охлаждаемой поверхности.

Скорость охлаждения при малой степени увлажнения соответствует скорости охлаждения в масле. Повышение степени увлажнения увеличивает скорость охлаждения, которая достигает предела при определенном количестве подаваемой воды. Дальнейшее увеличение расхода воды не приводит к увеличению скорости охлаждения. Интенсивность подачи охлаждающей смеси определяется давлением воздуха в форсунке-распылителе. Существует оптимальное значение давления воздуха, обеспечивающее максимальную скорость охлаждения. Так, например, закалку массивных изделий из

стали марки 5ХНВ рекомендуется проводить при избыточном давлении воздуха 3 ат и расстоянии от форсунок до охлаждаемой поверхности 500 мм. Расход воды определяется размерами и конфигурацией изделия.

В последнее время начали широко применять установки водоструйного охлаждения. Этот метод особенно перспективен для крупногабаритных деталей. При водоструйном охлаждении можно регулировать скорость охлаждения в широких пределах (от достигаемой при закалке в масле до достигаемой при закалке в воде). При этом при достаточной прокаливаемости деталей возникающие остаточные напряжения невелики, что позволяет избежать больших деформаций и трещинообразования.

Псевдоожоженный кипящий слой. Охлаждение изделий в процессе закалки можно производить в слое мелких твердых частиц

(например, в песке), которые поддерживаются во взвешенном состоянии продувкой через них воздуха или газа. Такая среда обладает достаточной теплопроводностью и поэтому может служить хорошим охладителем. Скорость охлаждения в кипящем слое занимает промежуточное положение между скоростью охлаждения в масле и скоростью охлаждения на воздухе; она зависит от температуры и давления подаваемого газа (воздуха). При таком способе достигается равномерность охлаждения. При закалке в кипящем слое отсутствуют смачивание поверхности изделий, паровая рубашка и коррозия на поверхности изделий.

Интенсивность охлаждения изделий при движении охлаждающей среды представлена в табл. VII.18. В табл. VII.19 указано влияние охлаждающей среды на поверхность закаливаемых изделий. Составы огнеупорных обмазок и набивок, применяемых в термических цехах, представлены в табл. VII.20, а нормы расхода материалов, используемых при термической обработке, — в табл. VII.21.

3. Отпуск

Превращения в стали при отпуске

Отпуск заключается в нагреве закаленной стали до температуры ниже A_{c1} , выдержке при этом температуре и последующем охлаждении. При нагреве происходит выделение углерода из мартенсита, приводящее к уменьшению искажений решетки α -железа. Такой мартенсит называют отпущенным. При температурах порядка 300—400°С завершается выделение углерода и образуется высокодисперсная феррито-цементитная смесь, называемая трооститом отпуска. При дальнейшем нагреве происходит коагуляция кристаллов карбидов и уменьшается дисперсность структуры. Структуру углеродистой стали, образующуюся при температурах отпуска 500—650°С, называют сорбитом отпуска. При более высоких температурах нагрева образуется перлит отпуска.

В формировании свойств закаленной стали при отпуске определенная роль принадлежит обоим структурным составляющим отпущенной стали — карбидам и ферритной матрице. Их совместное влияние и определяет свойства закаленной стали при данной температуре отпуска.

Известно что при повышении температуры отпуска пластические свойства стали возрастают. Однако при отпуске закаленной высокоуглеродистой стали в интервале температур 350—450°С отмечается понижение этих свойств. Область температур, в которой пластические свойства при отпуске снижаются, зависит от химического состава стали и режима ее термической обработки.

На рис. VII.4 представлена зависимость механических свойств стали У8А от температуры отпуска. Кривые, как правило, имеют минимум, который по мере увеличения содержания углерода в стали сдвигается в область более низких температур отпуска.

При увеличении содержания углерода в стали абсолютная величина указанного эффекта возрастает. Особенно наглядно это иллюстрируется сводными кривыми зависимости относительного сужения различных марок закаленной углеродистой стали от температуры отпуска (рис. VII.5). Что же касается прочностных свойств, то аномальных

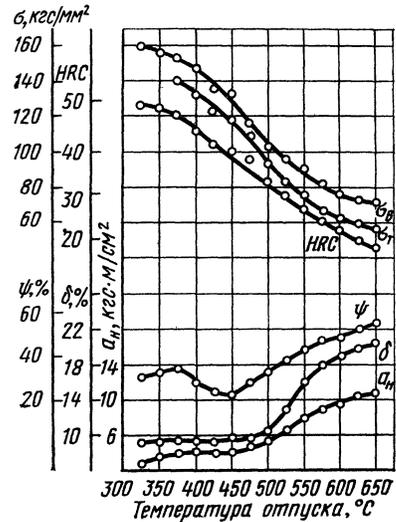


Рис. VII.4. Зависимость механических свойств закаленной стали У8А (0,82% С) от температуры отпуска

изменений здесь практически не наблюдается.

Введение легирующих элементов приводит к значительному изменению характера и кинетики процессов, происходящих при отпуске закаленной стали, что вызывает изменение ее физических и механических свойств. Роль легирующих элементов при отпуске проявляется как в воздействии их на процессы распада пересыщенного твердого раствора, так и в воздействии на состояние и превращения других структурных составляющих на различных этапах отпуска.

Легирующие элементы слабо влияют на скорость протекания первой стадии распада мартенсита. Влияние же их на вторую стадию распада мартенсита достаточно велико и определяется их химической природой и количеством, в котором они введены в сталь.

Все легирующие элементы по их влиянию на распад мартенсита при отпуске разбивают на две группы. Элементы первой группы (никель и марганец) оказывают слабое влияние на распад мартенсита. Элементы второй группы (хром, вольфрам, молибден, ванадий, кремний) в разной степени замедляют распад. Влияние некарбидообразующих элементов на устойчивость против отпуска связано с упрочняющим влиянием их на феррит как за счет растворения атомов элемента в решетке α -железа, так и за счет сохранения зерен феррита в пластически и упругодеформированном состоянии. Однако некоторые из этих элементов, в частности

никель, увеличивают скорость коагуляции карбидов и коэффициент диффузии углерода в феррите, соответственно ускоряя выделение углерода из α -раствора.

Влияние обоих факторов приводит к тому, что никель практически незначительно увеличивает скорость распада твердого раствора. Марганец, являясь очень слабым карбидообразователем, незначительно уменьшает скорость коагуляции и коэффициент диффузии углерода в феррите. Несколько упрочняя феррит, он оказывает лишь небольшое

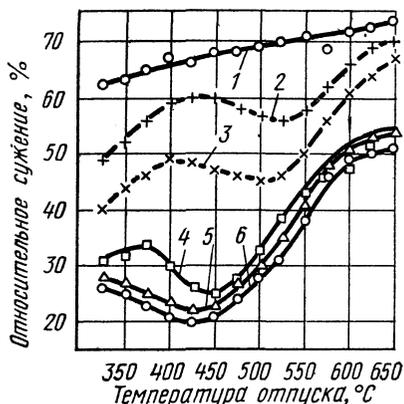


Рис. VII 5 Зависимость относительного сужения от температуры отпуска для закаленных углеродистых сталей

1 — 15; 2 — 45; 3 — У7А; 4 — У8А; 5 — У10А; 6 — У12А

влияние на повышение устойчивости мартенсита. Более интенсивно в этом отношении действуют сильные карбидообразующие элементы — ванадий, молибден, вольфрам и хром. Эти элементы существенно уменьшают скорость коагуляции карбидов и коэффициент диффузии углерода в α -растворе, что и приводит к замедлению процесса распада мартенсита.

Особое положение занимает кремний, слабо тормозящий процесс коагуляции и практически не изменяющий величину коэффициента диффузии, но энергично тормозящий распад мартенсита. Можно предположить, что подобное действие кремния определяется изменением характера связей в кристаллической решетке вследствие сильно выраженных металлоидных свойств его. Поэтому в присутствии кремния процесс образования зародышей карбидной фазы, необходимый для протекания распада мартенсита, затрудняется. Возможно также, что влияние кремния связано с тем, что он замедляет процесс самодиффузии железа, необходимый для образования карбида железа.

В процессе отпуска легированной стали в интервале температур, в котором происходит распад мартенсита, и при более высоких температурах параллельно с ростом карбидных частиц происходит перераспределение углерода и легирующих элементов между карбидной фазой и α -твердым раствором. В результате карбиды обогащаются карби-

дообразующими элементами, а α -фаза — некарбидообразующими. Однако суммарное содержание легирующих элементов в стали остается неизменным.

Интенсивность протекания процессов перераспределения определяется температурой отпуска. Для каждого легирующего элемента существует определенная температура отпуска, выше которой процессы перераспределения их заметно интенсифицируются. Для марганца эта температура составляет 350, для хрома 450, для вольфрама 550, для молибдена 600° С. Температура начала интенсивного протекания процесса перераспределения для каждого легирующего элемента определяется его диффузионной способностью. Задержка углерода в твердом растворе до более высоких температур связана с присутствием в твердом растворе карбидообразующих элементов, обладающих повышенным сродством к углероду.

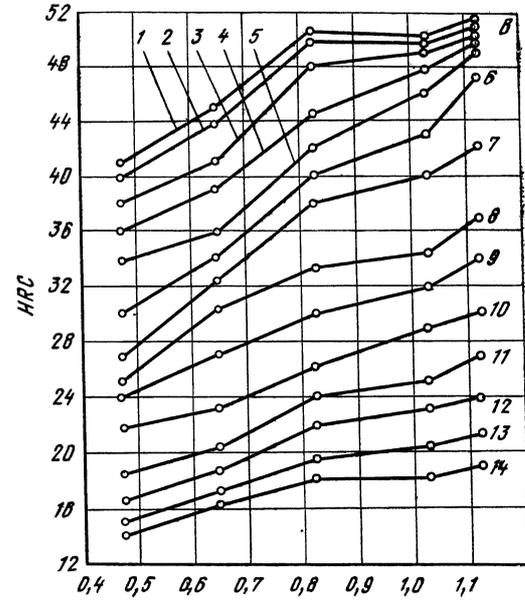
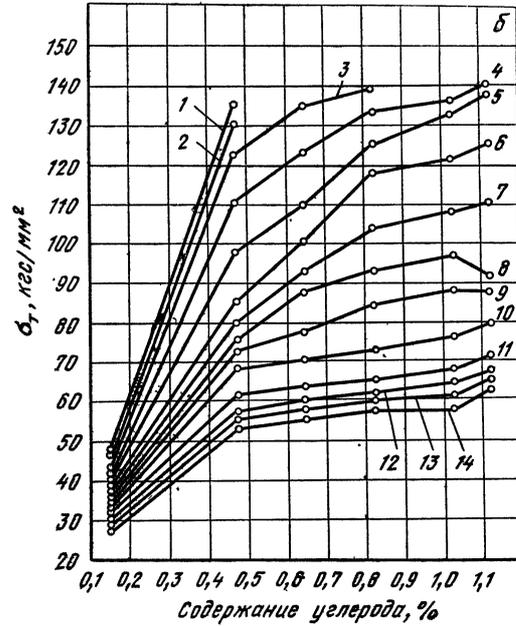
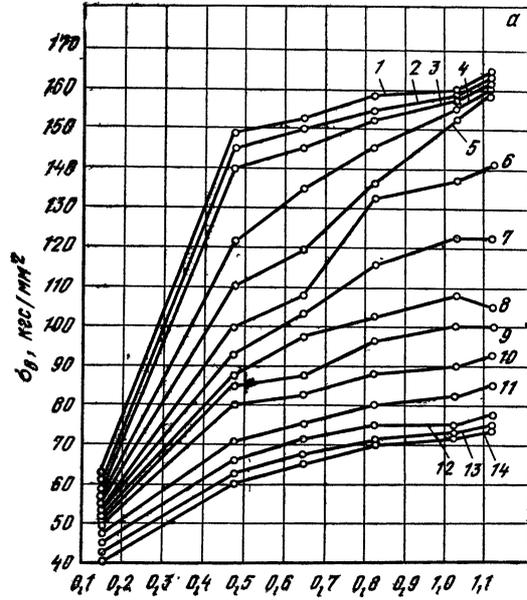
Таким образом, влияние легирующих элементов на характер изменения свойств стали при отпуске связано с их влиянием на процессы, протекающие в твердом растворе (дробление блоков α -фазы, снятие искажений второго рода кристаллической решетки) и карбидной фазе.

Виды отпуска

В зависимости от требуемых структуры и свойств применяют отпуск деталей машин и инструмента трех видов — низкий, средний и высокий.

Низкий отпуск производят при нагреве до температур 150—250° С. При этом образуется структура отпущенного мартенсита. При низком отпуске практически не изменяется твердость стали, однако увеличивается ее пластичность, снижаются остаточные напряжения, уменьшается склонность стали к хрупкому разрушению. Как правило, низкий отпуск производят после цементации, цианирования и частично поверхностной закалки деталей — шестерен, валов-шестерен, осей, пальцев и др. Низкому отпуску подвергают также мерительный и режущий инструмент из углеродистых и низколегированных сталей. Низкотемпературный отпуск проводят в электропечах с принудительной циркуляцией воздуха, в масляных ваннах и расплавленных солях: 50% NaNO_3 и 50% KNO_3 . Жидкие среды обеспечивают быстрый и равномерный нагрев и более точное регулирование температур.

Средний отпуск осуществляют при нагреве стали до температур 300—500° С. После такого отпуска структура стали состоит из тонкой смеси феррита и цементита, имеющего сфероидальную форму. Такую структуру называют троостит отпуска. Средний отпуск (350—400° С) средне- и высокоуглеродистых сталей (0,5—1% С) обеспечивает высокие предел упругости, предел выносливости и большую релаксационную стойкость. Поэтому этот вид отпуска используют после закалки пружин. Температуру отпуска пружин из углеродистой стали в зависимости от требуемого предела прочности, предела упругости и вязкости обычно принимают равной 350—400° С. Легированные пружин-



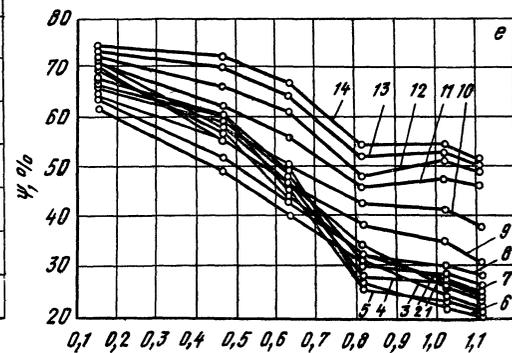
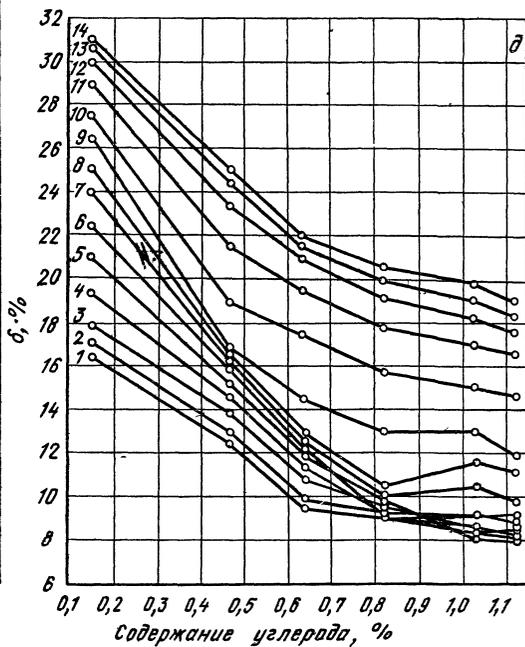
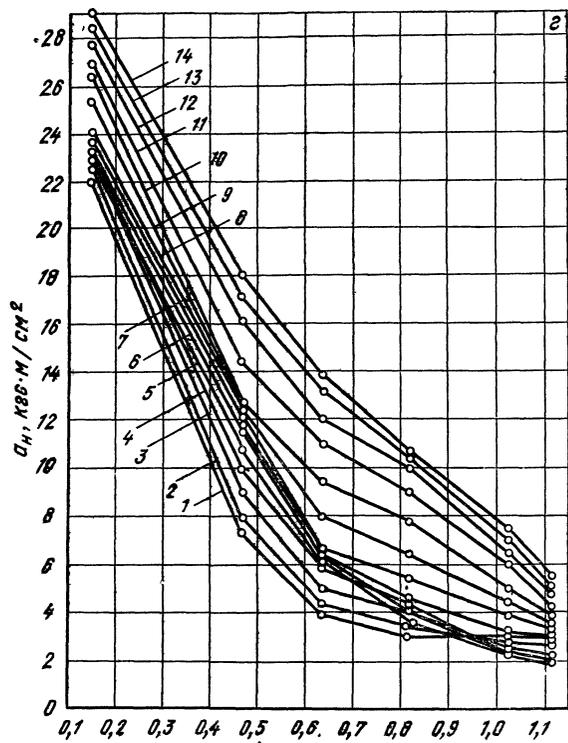


Рис. VII 6. Зависимость предела прочности σ_B (а), предела текучести σ_T (б), твердости HRC (в), ударной вязкости a_H (г), относительного удлинения δ (д) и относительного сужения ψ (е) от содержания углерода в стали после закалки и отпуска при различных температурах, °С:
 1 — 325; 2 — 350; 3 — 375; 4 — 400; 5 — 425; 6 — 450; 7 — 475; 8 — 500; 9 — 525; 10 — 550; 11 — 575, 12 — 600; 13 — 625; 14 — 650° С

ные стали отпускают при более высоких температурах. Температуру отпуска кремнистых сталей (55С2, 60С2) устанавливают в пределах 400—450° С. Сложнолегированные кремнистые пружинные стали отпускают при 400—450° С, сталь 50ХГ — при 440° С и сталь 50ХФА — при 420° С. Более высокие температуры отпуска наряду с повышенными упругими свойствами обеспечивают лучшие пластичность и вязкость и меньшую склонность к хрупкому разрушению.

Длительность отпуска устанавливают, исходя из требований к механическим свойствам. Охлаждение после отпуска при 400—450° С иногда проводят в воде, что способствует образованию на поверхности полезных сжимающих остаточных напряжений. Это увеличивает ограниченную долговечность и предел выносливости пружин.

Для повышения вязкости среднему отпуску на троостит (НРС 50—54) иногда подвергают теплостойкие штамповые стали марок 3Х2В8Ф, 4Х5В4МФС, 4Х5МС, 4Х8В2 и др. Этот отпуск выполняют сразу же после закалки (для предупреждения образования трещин). Нередко для крупных штампов применяют двукратный отпуск, улучшающий механические свойства.

Высокий отпуск производят при нагреве закаленной стали до температур 500—680° С. При этом фазовый состав стали по сравнению с фазовым составом после среднего отпуска не меняется. Однако с повышением температуры отпуска происходят процесс коагуляции и сфероидизации карбидов и изменение субструктуры α -фазы. Структуру, возникающую после высокого отпуска, называют сорбит отпуска. Легирующие элементы — хром, молибден, вольфрам, ванадий — замедляют процесс коагуляции карбидов. Поэтому после отпуска при одинаковой температуре сталь, легированная этими элементами, сохраняет более высокую дисперсность карбидных частиц и соответственно большую прочность.

Как следствие процесса коагуляции карбидной фазы твердость, предел прочности, предел текучести и предел упругости уменьшаются, а пластичность и вязкость увеличиваются.

Термическую обработку, состоящую из закалки и высокого отпуска, называют термическое улучшение. Улучшение значительно повышает конструктивную прочность стали (прочность, которая проявляется в стали в условиях ее реального применения в деталях и конструкциях), уменьшая чувствительность к концентраторам напряжений, увеличивая работу для пластической деформации при движении трещин (работу развития трещины) и снижая температуру верхнего и нижнего порога хладноломкости. Улучшению подвергают детали из конструкционной углеродистой и легированной стали, содержащей 0,3—0,45% С (30Х, 40Х, 40ХН, 40ХНМ, 40ХГ, 38ХГН, 38ХНВА, 30ХН2ВФА и др.), которые в процессе эксплуатации испытывают значительные ударные и вибрационные нагрузки и поэтому должны обладать высокой конструктивной прочностью.

Отпускная хрупкость

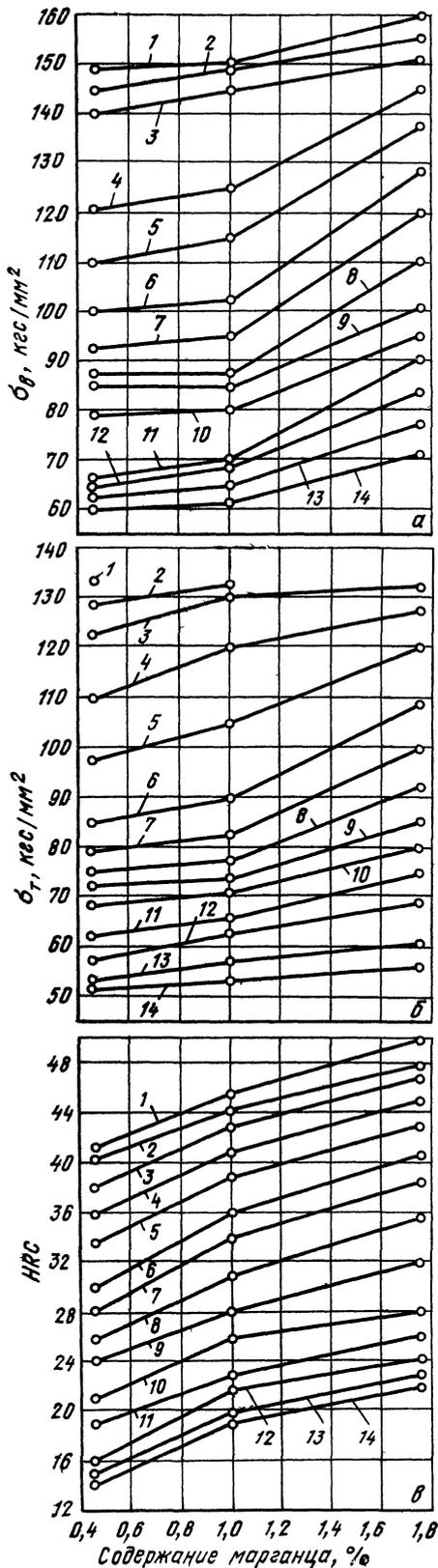
При отпуске деталей из легированных сталей при температурах 250—400° С во многих случаях наблюдается резкое снижение ударной вязкости. Это явление носит название отпускной хрупкости первого рода. Она носит необратимый характер — повторный отпуск при той же температуре не повышает вязкость. Хрупкое состояние обусловлено неоднородным распадом мартенсита и остаточного аустенита по границам и в объеме зерен. Следствие этого — неоднородное развитие пластической деформации при нагружении и возникновение областей, находящихся в объемнонапряженном состоянии, что ведет к хрупкости. Отпускная хрупкость первого рода (необратимая хрупкость) неустраняема.

Отпускную хрупкость иногда обнаруживают после медленного охлаждения деталей из легированных сталей (хромистых, марганцовистых, кремнистых, хромоникелевых, хромомарганцовистых и др.) с температуры отпуска 500—600° С (отпускная хрупкость второго рода или обратимая отпускная хрупкость). При быстром охлаждении с температуры отпуска этот вид хрупкости не развивается. Поэтому при отпуске деталей из легированных сталей в диапазоне 500—600° С следует обеспечить достаточно интенсивное охлаждение. Однако для крупногабаритных деталей даже охлаждение в воде не приводит к достаточно быстрому охлаждению сердцевины, в которой и развивается отпускная хрупкость. Поэтому стали, предназначенные для изготовления крупногабаритных деталей, дополнительно легируют молибденом или вольфрамом, что значительно уменьшает их склонность к обратной отпускной хрупкости.

Номограммы для определения механических свойств, формирующихся при отпуске закаленной стали

Целью отпуска закаленной углеродистой и легированной стали является получение заданного комплекса механических свойств. Свойства зависят от содержания углерода и легирующих элементов, температуры и продолжительности отпуска.

Часто режим отпуска подбирают в зависимости от требуемой твердости. Действительно, твердость легко определяется в производственных условиях и ее величина в определенной мере характеризует работоспособность деталей. Однако во многих случаях конструктору для определения работоспособности изделий необходимо, кроме твердости, знать и другие механические свойства, формирующиеся в процессе отпуска: прочность, пластичность, вязкость. Для определения этих показателей построены номограммы (рис. VII.6). Пользуясь этими графиками и зная температуру отпуска, можно для любой углеродистой стали определить механические свойства и, наоборот, зная требования, предъявляемые к той или иной детали, изготовленной из данного материала, определить необходимую температуру отпуска. Следует, однако, учитывать,



что кривые построены по результатам испытания небольших образцов. В реальных деталях абсолютные значения свойств несколько отличаются от найденных из номограмм

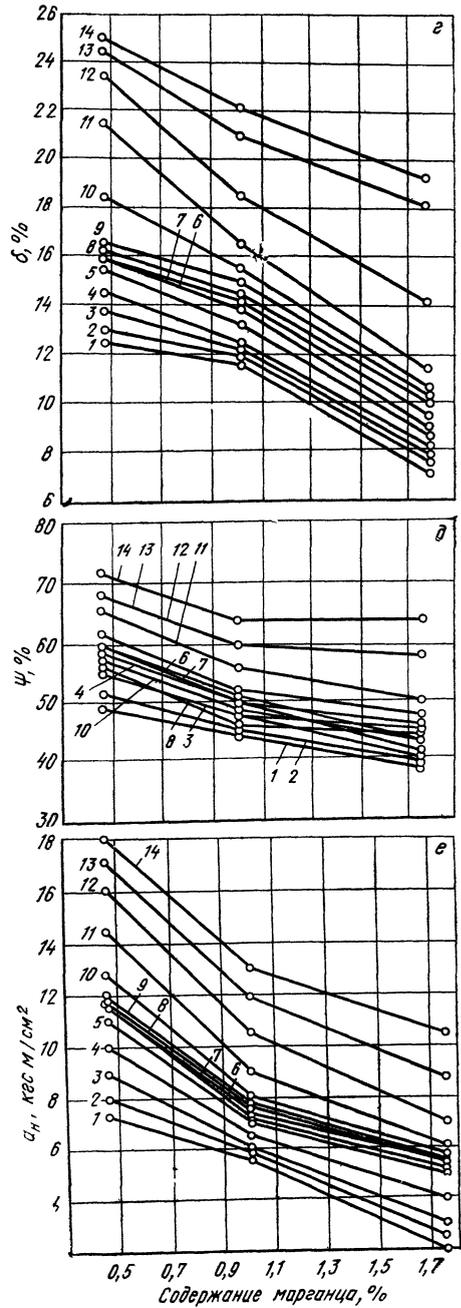


Рис. VII 7 Зависимость предела прочности σ_B (а), предела текучести σ_T (б), твердости HRC (в), относительного удлинения δ (г), относительного сужения ψ (д) и ударной вязкости α_H (е) стали с 0,5% углерода от содержания марганца после закалки и отпуска при различных температурах,

1 — 325, 2 — 350, 3 — 375, 4 — 400, 5 — 425, 6 — 450, 7 — 475, 8 — 500, 9 — 525, 10 — 550, 11 — 575, 12 — 600, 13 — 625, 14 — 650° С

В этом случае необходимо вносить поправку на прокаливаемость изделий и учитывать масштабный фактор. Следует также иметь в виду, что для построения кривых использовались результаты испытаний образцов, отпущенных при одной и той же постоянной выдержке, составляющей 1 ч.

Аналогично построены номограммы и для определения свойств после отпуска закаленных среднеуглеродистых марганцовистых сталей (рис. VII.7). Пользуясь ими и зная температуру отпуска, можно для среднеуглеродистых сталей, содержащих до 2% Mn, определить значения механических свойств, формирующихся при термической обработке, и зная требования, предъявляемые при эксплуатации к деталям, изготовленным из марганцовистой стали данной марки, определить необходимую температуру ее отпуска. Здесь, как и в случае углеродистых сталей, необходимо учитывать масштабный фактор, прокаливаемость и то, что продолжительность выдержки при отпуске всех образцов составляла 1 ч. Однако в связи с тем, что марганец увеличивает устойчивость переохлажденного аустенита, прокаливаемость марганцовистых сталей при определении механических свойств играет меньшую роль, чем в случае углеродистых сталей.

4. Оборудование и приспособления для термической обработки

В ремонтных цехах, характеризующихся единичным и мелкосерийным производством, печи для термической обработки со сквозным прогревом изделий подразделяются: а) по конструктивным особенностям — на камерные нагревательные со стационарным и выдвижным подом, конвейерные и толкательные, шахтные, муфельные, очковые, тигельные, печи-ванны и др.; б) по источнику тепловой энергии — на газовые, электрические, мазутные, реже — печи, работающие на твердом топливе; в) по температуре — на низкотемпературные, среднетемпературные и высокотемпературные; г) по технологическим признакам — универсальные для отжига, нормализации, закалки и высокого отпуска; цементационные; печи для азотирования; печи специального назначения для одноступенчатых деталей.

Помимо термических печей и закалочных баков, в состав оборудования термических отделений входят контрольно-измерительная аппаратура, правильные прессы, оборудование очистного отделения и др.

Газовые нагревательные печи бывают: камерные со стационарным и выдвижным подом, муфельные, очковые и соляные печи-ванны. В камерных печах с выдвижным и стационарным подом, а также в очковых печах изделия нагревают в камере с помощью газовых горелок инжекторного типа высокого или низкого давления, через которые подается газо-воздушная смесь. Тепло от пламени и раскаленных газов этой смеси непосредственно передается установленному в нагревательной камере изделию, равно-

мерно омывая его со всех сторон. В качестве горючих газов используют коксовый, доменный, генераторный (светильный) или природный (табл. VII.22). Различные по конструкции горелки применяют для дросселирования газа, повышающего или понижающего температуру нагрева: горелки высокого давления — для плавного и постепенного, а низкого давления — для резкого дросселирования. Поэтому горелки высокого давления применяют для печей, работающих при более постоянном тепловом режиме, а низкого давления — для печей с резко изменяющимся тепловым режимом.

Как правило, печи оборудованы щитами контрольно-измерительных приборов и средств автоматического управления механизмами печи, дающими возможность вести контроль расхода и давления газа и вентиляторного воздуха, давления воздуха до и после рекуператора, температуры в рабочем пространстве печи и других параметров. Автоматическое регулирование обеспечивает надежную сигнализацию падения давления газа и воздуха соответственно в общем газо- и воздухопроводе, а также автоматическое дистанционное поддержание температуры в печи по заданной программе соотношения газ — воздух. Помимо этого, печи снабжены приборами и механизмами, позволяющими автоматически осуществлять последовательное выполнение операций термической обработки и операций, связанных с ней общим технологическим циклом.

В муфельных печах изделия помещают в нагревательную камеру (муфель). В этом случае нагреваемое изделие непосредственно не соприкасается ни с пламенем, ни с раскаленными газами. Горячие газы и пламя нагревают муфель, а изделие получает тепло от его стенок.

На отдельных металлургических заводах еще сохранились печи, работающие на жидком топливе. Одной из таких является очковая печь для напайки резцов. В этой печи рабочая камера для окончательного нагрева до температуры 1300°С имеет окно размером 350×70 мм. Предварительный подогрев до 650 и 850°С осуществляется за счет тепла отходящих продуктов сгорания. Для этого в печи имеются два окна размером 230×70 мм, которые располагаются над рабочей камерой. Печь снабжена форсункой низкого давления. Производительность печи 15 кг/ч.

В настоящее время в ремонтных цехах наиболее широко применяют электрические печи сопротивления. Они позволяют легче автоматизировать процесс термической обработки, кроме того, создаются более гигиеничные условия труда.

К электрическим печам, применяемым в ремонтных цехах, относятся: камерные печи со стационарным подом типов СНЗ-3,0 6,5,2,0/10; СНЗ-4,0 8,0,2,6/10; СНЗ-6,5,13,4,0/10; СНЗ-8,5,17,5,0/10; шахтные печи типов СШО-4,8/7; СШЗ-4,8/10; СШО-6,6/7; СШЗ-10,10/10; соляные печи-ванны типов СВГ-10,8,5; СВГ-20,8,5; СВГ-30/8,5; СВС-20/13; СВС-60/13; СВС-100/13; свинцовые и масляные печи-ванны и др. Используют также толкательные печи непрерывного действия

Таблица VII.22

Характеристика промышленных газов

Наименование газов	Состав газа, % (объемн.)								Плотность, кг/м ³	Теплотворная способность, ккал/м ³
	CO ₂	CO	H ₂	CH ₄	C _n H _m	C _n H _{n+2}	N ₂	H ₂ S		
Газ доменных печей:										
древесноугольных	12,0	27	8,0	1,6	—	—	51,4	—	1,238	1157
коковых	10,2	28	2,7	0,3	—	—	58,5	0,3	1,296	957
Газ коксовых печей.										
очищенный	2,3	6,8	57,5	22,5	1,9	—	7,8	0,4	0,483	3924
неочищенный	2,3	6,8	57,0	22,3	2,7	—	7,7	0,4	0,507	4124
Генераторный газ:										
антрацит донецкий	5,5	27,5	13,5	0,5	—	—	52,6	0,2	1,135	1230
лисичанский	7,0	25,0	15,0	2,5	0,3	—	49,0	1,0	1,119	1451
челябинский	5,0	30,0	13,0	2,0	0,2	—	49,4	0,2	1,128	1449
подмосковный	6,5	25,0	14	2,2	0,3	—	50,6	1,2	1,130	1411
Коксовая мелочь	5,0	28,5	13	0,7	—	—	52,4	0,2	1,136	1265
Торф	8,0	28,0	15	3,0	0,4	—	45,3	0,1	1,126	1548
Древесина	6,5	29,0	14	3,0	0,4	—	46,9	—	1,122	1547
Природный газ:										
ухтинский	0,3	—	—	88,0	—	2,4	9,3	—	0,789	7946
бугуруславский	0,2	—	—	76,8	—	7,5	14,5	1,0	0,884	8109
саратовский	0,2	—	—	94,0	—	2,5	3,3	—	0,765	8560
мелитопольский	0,2	—	—	97,9	—	0,1	1,8	—	0,729	8391

и конвейерные закалочно-отпускные агрегаты. Типы и основные характеристики отдельных видов оборудования, применяемого для термической обработки деталей машин и инструмента, представлены в табл. VII.23—VII.29.

В шахтных, камерных и толкательных печах нагрев изделий осуществляется в нагревательных камерах или шахтах электрическим током при помощи нагревателей в виде ленточных или проволочных спиралей, изготовляемых из специальных сплавов: никрома, фехрала или хромала. Техническая характеристика нагревателей представлена в табл. VII.30. Нагреватели располагают под подом, на внутренних стенках или сводах нагревательной камеры или шахты; накаляясь, они излучают тепло непосредственно на подогреваемые изделия.

В комплект поставляемых установок, помимо электропечей, входят щиты с аппаратурой управления и приборами теплового контроля, механизмы поворота крышек электропечей, устройства для приготовления защитных атмосфер, печные понизительные трансформаторы и др.

Интересной конструкцией шахтной отпускной печи является печь «Циклон», в которой нагрев циркулирующей среды вынесен в отдельную камеру. Печи «Циклон» изготавливают с газовым и электрическим обогревом. Газовая печь (рис. VII.8, а) состоит из трех частей: топке, камеры с вентилятором и рабочей камеры. В топке происходит сгорание газа. Из топки продукты сгорания попадают в камеру с вентилятором, кото-

рый направляет их в рабочее пространство печи и заставляет проходить через корзину с отпускаемыми деталями. Затем часть продуктов сгорания циркулирует снова через садку с новыми продуктами сгорания, а излишек их удаляется через выводную трубу. У электрической печи «Циклон» (рис. VII.8, б) нагрев воздуха осуществляется нагревательными элементами в специальной камере, где установлен вентилятор. В печи непрерывно циркулирует горячий воздух и нагревает загруженные в рабочее пространство детали.

В печах-ваннах нагрев изделий производится либо в металлических тиглях с расплавленным свинцом, солью или нагретым маслом (расплавление свинца и соли и нагрев масла осуществляются газом либо нагревателями, расположенными в промежутках между металлическим тиглем и кирпичными стенками корпуса ванны), либо при помощи электродов, вводимых внутрь тигля непосредственно в нагревающую среду, являющуюся хорошим проводником электрического тока (в соляных ваннах). В первом случае происходит внешний подогрев, при котором излучаемое подогревателем тепло передается изделию через тигель и нагревающую среду (свинец, соль, масло); во втором — внутренний подогрев, при котором излучаемое электрической дугой тепло передается изделию непосредственно через нагревательную среду, в данном случае расплавленную соль.

Помимо печей для нагрева деталей под закалку, отпуск, отжиг, нормализацию и

Таблица VII.23

Техническая характеристика толкательных электропечей сопротивления непрерывного действия

Тип	Назначение	Мощность, кВт	Температура, °С	Размер рабочего пространства (ширина, длина, высота), мм	Габаритные размеры (ширина, длина, высота), мм	Производительность, кг/ч
СТО-5.60.5/3Б1	Низкий отпуск	135	350	500×6000×500	1400×10 755×2855	900
7СТО-16.80.6/5Б1	Нагрев под закалку и старение алюминиевых сплавов	280,5	550	1715×8490×600	3180×18 462×3750	400
СТО-10.60.5/10Б1	Нормализация стальных деталей	360	950	1000×6000×500	3300×13 360×3115	1000
СТЗ-5.60.5/7Б1	Высокий отпуск с охлаждением в закалочном баке	165	750	500×6000×500	4745×13 200×3560	450
СТЗ-10.60.5/7Б1	Высокий отпуск	297,5	700	1000×6000×500	5430×13460×3920	900
СТЗ-10.40.5/9,5И1	Закалка стальных изделий в масле	350	950	1000×4000×500	5430×9800×3920	900
СТЗ-5.40.5/10Б1	То же	310	900	500×4000×500	4745×9195×3400	450
СТЗ-5.40.5/10Б2	Нормализация стальных деталей	250	950	500×4000×500	4745×13 750×3558	475
СТЗ-5.40.5/10Б3	Закалка стальных деталей в воде	255	950	500×4000×500	6700×10 600×3920	450
СТЗ-10.40.5/10Б1	Закалка стальных деталей в масле	350	950	1000×4000×500	6700×9800×3920	700
СТЗ-10.40.5/10Б2	То же	335	950	1000×4000×500	6700×12 425×3920	900
70КБ-1564	Нормализация и отжиг стальных деталей	588	950	550×1100×550	6740×18 450×3920	1670

Примечание. Расшифровка обозначений типов печей производится следующим образом: С — нагрев сопротивлением; Т — толкательная; О — окислительная атмосфера печи; З — защитная атмосфера печи; цифры в числителе — размеры рабочего пространства (ширина, длина, высота), мм; цифра в знаменателе — рабочая температура, в сотнях °С; буква и цифра в знаменателе — шифр организации-разработчика и исполнение.

Таблица VII.24

Техническая характеристика толкательных агрегатов общепромышленного назначения

Тип	Назначение	Мощность, кВт	Температура, °С	Размер рабочего пространства основной печи (ширина, длина, высота), мм	Габаритные размеры агрегата (ширина, длина, высота), мм	Производительность, кг/ч
СТОА-16.120.6/10-26С1	Нормализация стальных деталей	1360	950	1600×12 000×600	6800×30 350×4296	4000
СТОА-16.200.6/10-26С1	То же	1418	950	1600×20 000×600	5660×36 033×4296	4000
СТОА-16.200.6/10-Ш39И1	»	1504	950	1600×20 000×600	—	2000
СТОА-3.5.90.11/7,5И1	Закалка в масле, высокий отпуск	1160	750	350×9000×1100	9660×42 670×8060	750
СТЗА-10.40.5/3-С.9С1	Закалка, низкий отпуск	791	950/300	1000×4000×500	6447×24 892×5608	900—750
СТЗА-5.40.5/3.9Л-Б1	То же	619	950/350	500×4000×500	5760×24 900×3560	450
СТЗА-5.40.5/7-П17Л-Б1	Закалка в воде, высокий отпуск	700	950/750	500×4000×500	11 630×13 000×3920	450
СТЗА-5.40.5/7-15Л-Б1	Закалка в масле, высокий отпуск	700	950/700	500×4000×500	5760×24 880×3500	450
СТЗА-10.40.5/7-С.15С1	То же	696	950/700	1000×4000×500	8087×28 000×5608	900—750
СТЗА-10.40.5/7-Л16Л-Б1	Закалка в воде, высокий отпуск	632	950/700	1000×4000×500	8640×25 580×3920	900
СТЗА-16.120 6/10-27И1	Нормализация, светлый отжиг	1732 (нормализация), 581 (отжиг)	950	1600×12 000×100	6520×28 540×4916	4000 (нормализация), 1000 (отжиг)
СТЗА-16.200 6/10-Ш39-И1	Отжиг белого чугуна	1504	950/720	1600×20 000×600	15 040×35 500×4400	2000
СТЗА-32.250 6/7-39С1	То же	3247	950/720	3200×25 000×600	10 555×75 890×5300	4000
СТЦА-5.60.5/3-П1Л-С1	Нитроцементация, закалка, низкий отпуск	616	950/300	500×6000×500	7103×15 310×5971	400
СТЦА-5.80.5/3-П2Л-С1	То же	517	950/350	500×8000×500	9150×17 808×5608	200
СТЦА-5.100.5/3-П3Л-Б1	Цементация, закалка, низкий отпуск	520	950/300	500×10 000×500	7330×21 920×5970	250
СТЦА-5.100.5/3-П7Л-С1	То же и высокий отпуск	958	950/850/350	500×10 000×500	10 784×32 960×5608	200
СТЦА-10.60.5/3-П7Л-С1	Цементация, низкий отпуск	736	950/300	1000×6000×500	7788×15 310×5971	600
СТЦА-10.100.5/3-П3Л-С1	Цементация, закалка, низкий отпуск	951	950/850/350	1000×10 000×500	7310×29 703×5970	400
СТЦА-16.120.8/3-П3Л-Б1	Цементация, низкий отпуск	1067	950/350	1600×12 000×800	10 550×22 750×6160	400
СТЦА-5.60.5/7-П32Л-И1	Цементация, закалка, высокий отпуск	641	950/700	500×6000×500	9915×16 920×5970	400
СТЦА-5.100.5/7-ШС13-С1	Цементация, высокий отпуск	1226	950/700	500×10 000×500	15 171×22 412×5971	350
СТЦА-10.60.5/7-29Л-С1	То же	665	950/700	1000×6000×500	6600×33 230×4860	400
СТЦА-10.100 5/7-Ш29-С1	»	1135	950/700	1000×10 000×500	17 420×22 748×4700	600
СТЦА-5.60.5/10-С11-Б1	Цементация	374,4	950	500×6000×500	—	400
СТЦА-10.100.5/10-П11-Б1	»	526	950	1000×1000×500	—	400

Примечание. Расшифровка обозначений типов агрегатов производится следующим образом: С — нагрев сопротивлением; Т — толкательный; О — окислительная атмосфера печи; З — защитная атмосфера печи; Ц — цементационная атмосфера печи; А — агрегат; цифры в числителе — размеры рабочего пространства (ширина, длина, высота), мм; первая цифра в знаменателе — температура, в сотнях °С, последней электрод печи агрегата; следующая буква — компоновка, цифра — номер схемы режима термообработки, буква — расположение оборудования, входящего в агрегат, следующая буква — шифр организации-разработчика, цифра — исполнение агрегата.

Таблица VII.25

Техническая характеристика конвейерных электропечей

Тип	Назначение	Мощность, кВт	Температура, °С	Размер рабочего пространства, мм	Габаритные размеры (ширина, длина, высота), мм	Производительность, кг/ч
СКЗ-4.20.1/7Б2	Высокотемпературный отпуск	54,4	700	400×2000×100	3930×6150×4200	100—160
СКЗ-4.30.1/7Б2	То же	75,5	700	400×3000×100	4030×7160×4200	150—240
СКЗ-6.30.1/7Б2	»	108,8	700	600×3000×100	4290×7770×4200	225—360
СКЗ-8.40.1/7Б1	»	168,6	700	800×4000×100	4690×8460×4100	400—640
СКЗ-10.40.1/7Б1	»	203,6	700	1000×4000×100	5190×8460×4100	500—800
СКЗ-4.20.1/9Б2	Высокотемпературный отпуск изделий массой до 3 кг	77,5	900	400×2000×100	3930×6160×4500	100—160
СКЗ-4.30.1/9Б3	Нагрев изделий под закалку	107,5	900	400×3000×100	4060×7160×4200	150—240
СКЗ-6.30.1/9Б2	То же	157,5	900	600×3000×100	4290×7640×3700	225—360
СКЗ-8.40.1/9Б3	»	236,5	900	800×4000×100	4690×8640×4200	400—640
СКЗ-10.40.1/9Б2	»	276,5	900	1000×4000×100	5190×8640×4200	500—800
СКЗ-8.50.2.5/10М01	Нормализация, отжиг	236	1000	800×5000×250	4200×10 760×2660	300—400
СКЗ-8.60.2.5/10М1	Отжиг	317	1000	800×5000×250	4830×21 030×4060	300—600
СКЗ-6.30.1/7ИЗ	Высокий отпуск	99	700	600×3000×100	3000×6460×3500	235—280
СКО-8.35.4/3Б1	Низкий отпуск	57,6	350	800×3500×400	2200×7200×3275	150—240
СКО-8.55.4/3Б2	То же	64,8	350	800×5500×400	2300×9110×3275	225—360
СКО-12.55.4/3Б3	Низкий отпуск	84,8	350	1200×5500×400	2570×9200×3275	300—480
СКО-12.75.4/3Б1	То же	123	350	1200×7500×400	2570×11 125×3275	400—640
СКО-14.75.4/3Б1	»	143	350	1400×7500×400	2900×11100×3275	500—800

Примечание. Расшифровка обозначений типов печей производится следующим образом: С — нагрев сопротивлением; К — конвейерная; З — защитная атмосфера печи; О — окислительная атмосфера печи; цифры в числителе — размеры рабочего пространства (ширина, длина, высота), мм; цифра в знаменателе — рабочая температура, в сотнях °С; буква — шифр организации-разработчика, цифра — исполнение.

Таблица VII.26

Техническая характеристика конвейерных закально-отпускных агрегатов

Тип агрегата	Тип печей, входящих в состав агрегата	Мощность агрегата, кВт	Температура, °С	Размер рабочего пространства основной печи (ширина, длина, высота), мм	Габаритные размеры агрегата (ширина×длина×высота), мм	Производительность агрегата, кг/ч
СКЗА-4.30.1/3Б4	СКЗ-4.30.1/9Б3, СКО-8.35.4/3Б1	207	900/350	400×3000×100	4000×22 780×3560	150—360
СКЗА-6.30.1/3Б4	СКЗ-6.30.1/9Б2, СКО-8.55.4/3Б2	265	900/350	600×3000×100	4290×26 820 3560	225—360
СКЗА-8.40.1/3Б6	СКЗ-8.40.1/9Б3, СКО-12.75.4/3Б1	383	900/350	800×4000×100	4690×28 080 3560	400—640
СКЗА-10.40.1/3Б6	СКЗ-10.40.1/9Б2, СКО-14.75.4/3Б1	441	900/350	1000×4000×100	6800×28 710 3560	500—800
СКЗА-4.20.1/7Б4	СКЗ-4.20.1/9Б2, СКЗ-4 20.1/7Б2	178	900/700	400×2000×100	4000×24 400 3570	100—160

СКЗА-4.20.1/7Б7	СКЗ-4.20.1/9Б2, СКЗ-4.20.1/7Б2	178	900/700	400×2000×100	4000×24 420×3370	100—160
СКЗА-4.30.1/7Б3	СКЗ-4.30.1/9Б3, СКЗ-4.30.1/7Б2	229	900/700	400×3000×100	4000×26 400×3370	150—240
СКЗА-6.30.1/7Б4	СКЗ-6.30.1/9Б2, СКЗ-6.30.1/7Б2	311	900/700	600×3000×100	4290×29 550×3370	225—360
СКЗА-8.40.1/7Б3	СКЗ-8.40.1/9Б3, СКЗ-8.40.1/7Б1	423	900/700	800×4000×100	4690×31 765×3370	400—640
СКЗА-10.40.1/7Б1	СКЗ-10.40.1/9Б2, СКЗ-10.40.1/7Б1	501	900/700	1000×4000×100	5090×32 270×3370	500—800
СКЗА-8.40.1/3, 5СХ	СКЗ-8.40.1/9И4, СКО-12.60.3/3,5И1	525,4	900/350	800×4000×100	4690×40 230×3500	410—670

Примечание. Расшифровка обозначений типов агрегатов производится следующим образом: С — нагрев сопротивлением; К — конвейерный; З — защитная атмосфера печи; цифры в числителе — размеры рабочего пространства первой печи (ширина, длина, высота), мм; цифра в знаменателе — рабочая температура последней печи, в сотнях °С; буква и цифра — исполнение и шифр организации-разработчика.

Таблица VII.27

Техническая характеристика камерных электропечей сопротивления широкого назначения

Тип	Назначение	Мощность, кВт	Температура, °С	Размер рабочего пространства (ширина×длина×высота), мм	Габаритные размеры (ширина×длина×высота), мм	Масса, кг	Завод-изготовитель
СНО-6,3.8.12,5/3,5И1	Низкий и средний отпуск Средний и высокий отпуск Нагрев под закалку и нормализацию	18,6	350	630×800×1250	955×1710×1986	210	ТагЗЭТО (г. Таганрог) То же Чадыр-Лунгский ЗЭТО (Молдавская ССР)
СНО-7,6.3.10/6И1		26	600	700×630×1000	1010×1700×1890	230	
СНО-3,6.2/10И2		14,6	1000	300×600×200	1420×2500×2050	220	
СНО-4.8.2,5/10И2	То же »	25	1000	400×800×250	1460×3200×3110	220	То же Завод «Электропечь» (г. Бийск), Чадыр-Лунгский ЗЭТО
СНО-6.12.4/10И2		71	1000	600×1200×400	1820×4200×2800	800	
СНО-8.16.5/10И2	» Нагрев крупногабаритных заготовок из титановых сплавов и сталей перед ковкой и штамповкой	81	1000	800×1600×500	1950×4500×3250	1350	Завод «Электропечь» (г. Бийск) Завод «Электропечь» (г. Бийск) Азерэлектротерм (г. Баку)
СНО-22,4.30.10/12И1		450	1200	2240×3000×1000	4600×5000×5460	10000	
СНО-2,3.2/13И1	Нагрев под закалку, отжиг быстрорежущих сталей	15	1300	200×300×200	1452×2200×1915	30	—
СНО-3,4.2,5/13И1	То же Нагрев под закалку, отжиг быстрорежущих сталей	30	1300	300×400×250	1632×2585×1965	100	Завод «Индуктор» (г. Новозыбково) То же
СНО-4,8.2,5/13И1		71	1300	400×800×250	1952×3230×1980	250	
СНЗ-3,6.2/10М1	Нагрев под закалку, отжиг То же Нагрев под закалку и нормализацию, отжиг	14	1000	300×600×200	1150×1575×1570	100	Чадыр-Лунгский ЗЭТО То же » »
СНЗ-4,8.2,5/10М1		25	1000	400×800×250	1520×2015×2115	220	
СНЗ-6.12.4/10М1		58	1000	600×1200×400	2055×2850×2455	800	
СНЗ-8.16.5/10М1	То же Нагрев под закалку и нормализацию, отжиг	81	1000	800×1600×500	2210×3250×2715	1350	Завод «Электропечь» (г. Бийск) Чадыр-Лунгский ЗЭТО
СНЗ-4,8.2,5/12М1		19	1200	400×800×250	1520×2015×2115	150	

Тип	Назначение	Мощность, кВт	Температура, °С	Размер рабочего пространства (ширина×длина×высота), мм	Габаритные размеры (ширина×длина×высота), мм	Масса садки, кг	Завод-изготовитель
СНЗ-6.12.4/12М1	То же	52	1200	600×1200×400	2055×2850×2455	400	Завод «Электропечь» (г. Бийск) Азерэлектротерм (г. Баку)
СНЗ-11.22.2,7/12Б3	Нагрев под закалку изделий из жаропрочных и нержавеющей сталей	140	1200	1100×2200×700	3000×9190×7700	1000	
СНЗ-11.22.7/12Б4	Нагрев под закалку	135,5	1200	1100×2200×700	3000×4080×3200	1000	То же
СНЗ-2.3.2/13И1	Термообработка высоколегированных и быстрорежущих сталей	15,0	1300	200×300×200	1194×2200×1930	30	
СНЗ-3.4.2.5/13И1	То же	30	1300	500×400×250	1632×2585×1980	100	—
СНЗ-4.8.2.5/13И1	» »	71	1300	400×800×250	1952×2942×1980	250	
СНЦ-5 10.5/10С1	Цементация, нагрев под закалку	149	950	500×1000×500	2530×5300×3800	366	Завод «Индуктор» (г. Новозыбково) СарЗЭТО (г. Саратов)
СНЦ-5.10.5/9,5И2	То же	139	950	500×1000×500	2530×6700×3800	400	
СНЦ-8.12.5.6/9,5И1	» »	222	950	800×1250×600	3146×7825×4215	75	То же

Примечание. Расшифровка обозначений типов печей производится следующим образом: С — нагрев сопротивлением; Н — камерная; О — окислительная атмосфера печи; З — защитная атмосфера печи; Ц — цементационная атмосфера печи; цифры в числителе — размеры рабочего пространства, мм; цифра в знаменателе — рабочая температура, в сотнях °С; буква и цифра в знаменателе — исполнение и шифр организации-разработчика.

Таблица VII.28

Техническая характеристика вертикальных (шахтных) электропечей широкого назначения

Тип	Назначение	Мощность, кВт	Температура, °С	Размер рабочего пространства (ширина×длина×высота), мм	Габаритные размеры печи (ширина×длина×высота), мм	Масса садки, кг	Завод-изготовитель
СПО-15.30/7М01	Отпуск	195	700	∅1500×3000	5580×5863×3650	1000	Азерэлектротерм (г. Баку) «Электропечь» (г. Бийск)
СПО-6.6/10М1	Нагрев под закалку	70	1000	∅600×600	2310×2825×3190	600	
СПО-6.12/10М1	То же	85	1000	∅600×1200	2310×2825×3850	1100	То же
СПО-6.20/10М1	» »	100	1000	∅600×2000	2310×2825×4510	1200	
СПО-6.30/10М1	» »	130	1000	∅600×3000	2310×2825×5830	1600	» »
СПО-3.3.12/13И1	Нагрев инструмента под закалку	70	1300	300×300×1200	2360×2610×3832	230	
СПО-3.3.20/13И1	То же	100	1300	300×300×2000	2360×2610×4768	340	Завод «Индуктор» (г. Новозыбково)
СПО-20.30.10/5И1	Отпуск	302	500	2000×3000×1000	4670×5360×3170	—	
СПО-60.30/10И1	Нагрев под закалку и нормализацию	1000	1000	∅6000×3000	10 930×11 915×7200	4000	—
СПО-10.10/10М1	То же	111	1000	∅1000×1000	3060×4070×3535	1200	Южно-Уральский ЗЭТО (г. Тюльган Оренбургской области)
СПЗ-6.6/7М1	Высокий и низкий отпуск	37,2	700	∅600×600	2750×2320×3200	600	
СПЗ-6.12/7М1	То же	52,2	700	∅600×1200	2750×2320×3795	900	Завод «Электропечь» (г. Бийск)
СПЗ-6.20/7М1	» »	72,2	700	∅600×2000	—	1200	
СПЗ-25.20/7И1	Высокий отпуск	297	700	∅2500×2000	7610×8190×5615	5000	Завод «Электропечь» (г. Бийск)

СШЗ-6 30/7М1	Высокий и низкий отпуск	107	700	∅600×3000	2320×2750×5585	1600	Завод «Электротепчь» (г. Бийск)
СШЗ-10 10/7М3	То же	85	700	∅1000×1000	3060×4070×3665	1100	Южно-Уральский ЗЭТО
СШЗ-10 10/7М4	» »	85	700	∅1000×1000	3060×4070×3805	1100	То же
СШЗ-6 30/10М1	Нагрев под закалку и нормализацию	136	1000	∅600×3000	1800×2223×5050	750	Завод «Электротепчь» (г. Бийск)
СШЗ-3 з 12/13И1	Нагрев инструмента под закалку	70	1300	300×300×1200	2360×2610×3832	230	—
СШЗ-3 з 20/13И1	То же	100	1300	300×300×2000	2360×2610×4768	340	—
СШЗ-10,20/12И3	Нагрев под закалку и нормализацию	211	1200	∅1000×2000	2900×5230×5300	1500	Завод «Электротепчь» (г. Бийск)
СШЗ-15 45/10И1	То же	498	1000	∅1500×4500	∅3052×7380	5000	Индивидуальное исполнение
СШЗ-15 45/12И1	» »	588	1200	∅1500×4500	∅3052×7380	5000	То же
СШЗ-15 30/10М1	» »	300	1000	∅1500×3000	5530×5868×6430	6000	Азерэлектротерм (г. Баку)
СШЗ-10 20/10И1	» »	211	1000	∅1000×2000	3625×4675×5300	1500	Завод «Электротепчь» (г. Бийск)
СШЗ-6,12/12И1	» »	121	1200	∅600×1200	—	800	То же

Примечание. Расшифровка обозначений типов печей производится следующим образом: С — нагрев сопротивлением; Ш — шахтная электротепчь; О — окислительная атмосфера печи; З — защитная атмосфера печи; цифры в числителе — размеры рабочего пространства (диаметр, высота), дм; цифра в знаменателе — рабочая температура, в сотнях °С; буква и цифра в знаменателе — исполнение и шифр организации-разработчика.

Таблица VII.29
Техническая характеристика электрованн

Тип	Назначение	Мощность, кВт	Температура, °С	Размер рабочего пространства (диаметр×высота), мм	Габаритные размеры ванны, мм	Емкость, л	Производительность, кг/ч
СВС-2 3/9И1	Нагрев изделий из легированных сталей	63	900	200×300	∅1420×1495	70	—
СВС-2.5/9И1	То же	63	900	200×500	∅1420×1730	115	—
СВС-2.18/9И1	» »	110	900	200×1800	∅1420×4125	250	—
СВС-1.3/13И1	Термообработка инструмента из быстрорежущей стали	63	1300	100×500	1450×1500×2720	25	—
СВС-2.3/13И1	То же	100	1300	200×300	∅3045×2586	—	360
СВС-2 5/13И1	» »	137	1300	200×500	∅3045×2836	120	500
СВС-2.18/13И1	» »	250	1300	200×1800	∅1420×4125	325	—
СВГ-1,5,2/8,5М1	Нагрев изделий под закалку, отпуск, отжиг (в свинце, хлористых солях, селитре)	10	850	150×200	1046×1300×1820	—	10—28
СВГ-2,5,3,5/8,5М1	То же	20	850	250×350	1134×1330×1920	—	20—60
СВГ-3,5 4/8,5М1	» »	30	850	400×555	1236×1460×2225	—	30—100
СВГ-1,5,2/8,5И2	» »	12	850	150×200	1100×1300×1305	11	—
СВГ-3,5,4/8,5И2	» »	34	850	350×400	1540×1500×1705	75	—
СВГ-2,5,3,5/8,5И2	» »	22	850	250×350	1300×1450×1505	35	—

Примечание. Расшифровка обозначений типа ванн производится следующим образом: С — нагрев сопротивлением; В — ванна; С — расплавленные соли и щелочи для электродных ванн; Г — расплавленные металлы, соли, щелочи для электрованн с наружным обогревом; цифры в числителе — размеры рабочего пространства (диаметр, высота), дм; цифры в знаменателе — рабочая температура, в сотнях °С; буква и цифра в знаменателе — исполнение и шифр организации-разработчика.

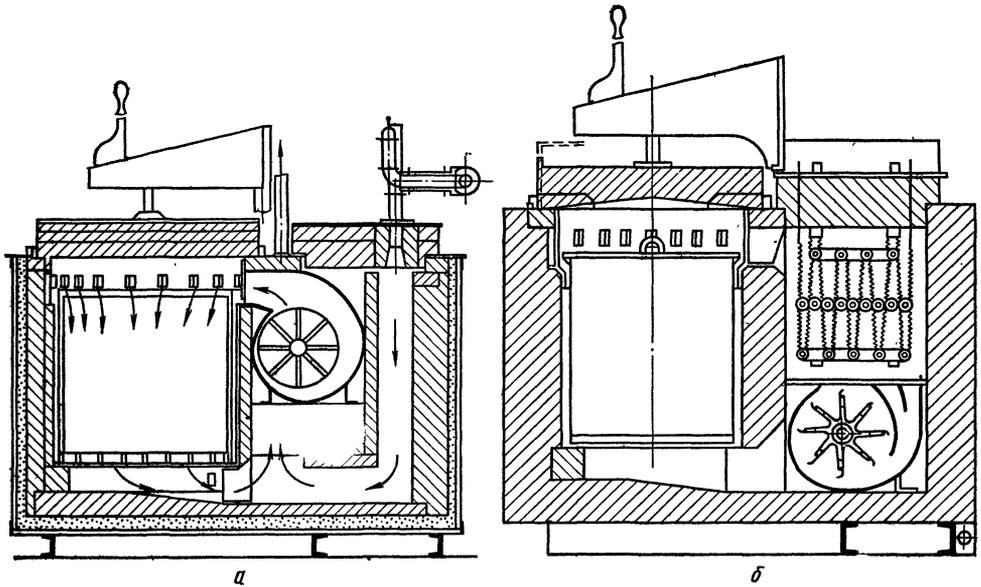


Рис. VII.8. Схема печи «Циклон»:
а — газовой; б — электрической

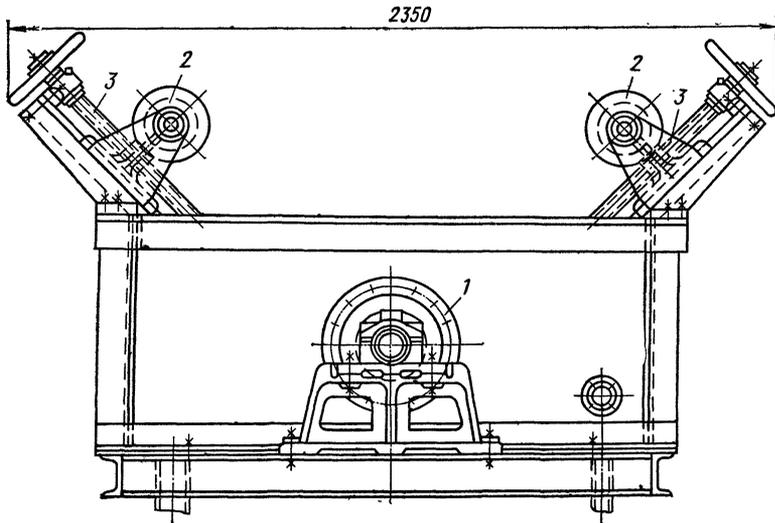


Рис. VII.9. Схема установки конструкции КМК для сорбитизации крановых колес

другие технологические операции, термические отделения располагают оборудованием для охлаждения деталей (водяными и масляными закалочными баками, маслоохладительными установками), установками для низкотемпературной термической обработки (обработки холодом), оборудованием для предупреждения и устранения деформаций, различными приспособлениями для осуществления технологических операций и приборами контроля результатов термической обработки. Кроме того, для закалки отдельных деталей применяют специальные установки.

В табл. VII.31 приведена техническая характеристика установок и агрегатов для

термической обработки деталей холодом. Низкотемпературные установки отечественного производства выпускаются в виде термокамер (ТК) или термобарокамер (ТБК) в комплекте с холодильной машиной и приборами автоматического регулирования. Отечественные термокамеры изготавливают двух типов: сундучковые (ТКСИ) с загрузкой сверху и шкафные (ТКШ). Первая цифра в шифре установки указывает полезный объем камеры (m^3), вторая — наименьшую отрицательную температуру в камере ($^{\circ}C$). Некоторые модели установок имеют электронагреватели, которые позволяют автоматически поддерживать положительные температуры (до $150^{\circ}C$). Термобарокамеры

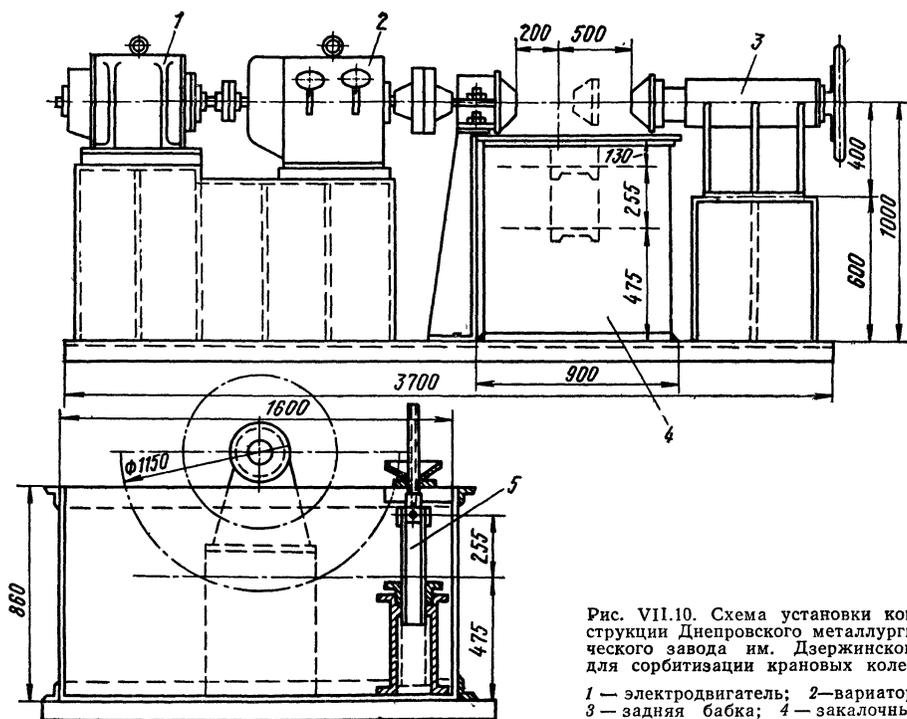
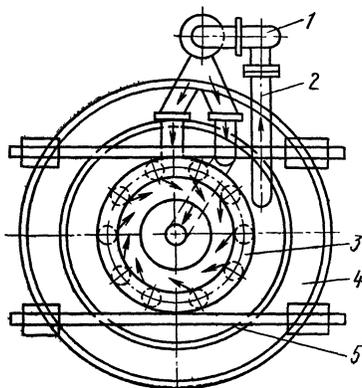
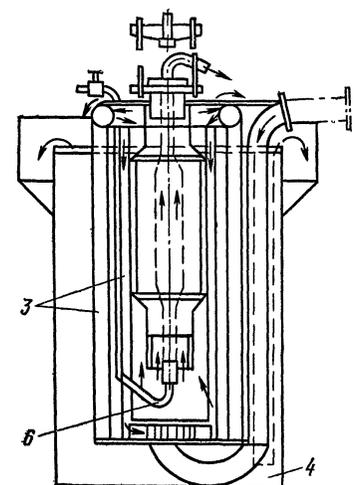


Рис. VII.10. Схема установки конструкции Днепровского металлургического завода им. Дзержинского для сорбитизации крановых колес:

- 1 — электродвигатель; 2 — вариатор;
- 3 — задняя бабка; 4 — закалочный бак; 5 — регулятор уровня



оборудованы вакуум-насосами, обеспечивающими вакуум до 2 мм рт. ст. Для охлаждения камер до температур от -50 до -70°C применяют двухступенчатые машины, работающие на фреоне-22. Эти же машины (с агрегатами ФДС-03А; ФДС-1,2; ФДС-2,5) поставляют также без камеры, так как в ряде случаев предприятия-потребители самостоятельно изготавливают камеры с учетом специфики своего производства.

Примером специализированной установки, применяемой на предприятиях для термической обработки, является установка для сорбитизации крановых колес. Схема сорбитизационной установки конструкции КМК представлена на рис. VII.9. Нагретое в печи до температуры выше критической точки A_{c3} колесо краном переносят к закалочной ванне и укладывают на опорные ролики. Ролик 1 приводной, а ролики 2 холостые. Приводной ролик и опирающаяся на него деталь приводятся во вращение электродвигателем через редуктор. Холостые ролики вместе с их обоймами могут перемещаться вдоль наклонных направляющих 3 и устанавливаться в положении, необходимом для данного диаметра обрабатываемой детали. Уровень воды в закалочной ванне, зависящий от размера закалываемой детали, регулируют специальным приспособлением, которое расположено над

Рис. VII.11. Струйчатое устройство для охлаждения валков при объемной закалке:

- 1 — насос; 2 — подводная труба; 3 — струйчатое приспособление; 4 — водяной бак; 5 — брус; 6 — металлический наконечник

Техническая характеристика нагревателей

Класс нагревателей	Марка сплава	Химический состав, %				Предельная температура эксплуатации, °С	Рекомендуемая для эксплуатации среда	Агрессивные (недопустимые) среды
		Cr	Ni	Al	Ti			
Нихромы	X20H70-H	20—23	75—78	0,2	0,4	1100	Воздух, вакуум, водород, диссоциированный аммиак, эндогаз	Сернистая
	X20H80T3	19—23	Остальное	0,4—1,1	2—2,9	1100		
Нихромы с алюминием	X15H60-H	15—18	55—61	0,2	0,4	1000	Воздух, вакуум, водород, диссоциированный аммиак	Сернистая, углеродсодержащая
	XH70Ю (ЭИ652)	26—29	Остальное	2,6—3,5	—	1200		
	X15H60Ю3А (ЭИ548)	15—18	56—61	3,2—4,0	—	1200		
Железохромоникелевые	X25H20	24—27	17—20	—	—	1000	» »	»
Железохромоалюминиевые	0X27Ю5А (ЭИ626)	26—28	0,6	5—5,8	—	1300	Воздух, сернистые среды, вакуум	Щелочная среда и среда, содержащая галлоиды
	0X23Ю5А (ЭИ595)	21,5—23,5	0,6	4,5—5,2	—	1200		
	X13Ю4	12—15	0,6	3,5—5,5	—	800		

Таблица VII.31

Техническая характеристика холодильных агрегатов для низкотемпературной обработки

Основные показатели	Термокамеры				Термобарокамеры	
	ТКСИ-0,1-70	ТКСИ-0,2-80	ТКСШ-0,15-100	ТКСШ-1-100	ТБК-0,15-70	ТБК-0,4-70А
Камера:						
полезный объем, м ³	0,1	0,2	0,15	1,0	0,15	0,4
внутренние размеры, мм	450×600×350	600×1050×350	540×540×540	1000×1000×1000	540×540×540	730×730×730
температура в рабочем объеме, °С	(-70)÷(+100)	(-80) - (+20)	(-100) - (+100)	(-100)÷(+150)	(-70)÷(+100)	(-70) - (+100)
установленная мощность, кВт	12,35	6,3	11,6	—	16	19
габаритные размеры, мм	2130×1060×970	2800×1125×995	1740×1710×2075	2010×1940×2360	1970×1970×2295	1770×1710×2075
масса, кг	850	1120	1200	2250	2300	1700
Холодильная машина	Двухступенчатая			Каскадная		
Компрессоры (марка):						
нижняя ветвь	—	13ФВС-6	13ФУС-12	13ФУС-25	13ФВС-6	13ФВС-6
верхняя ветвь	22ФУС-12	22ФВС-6	22ФВС-6	22ФУС-12	22ФВС-6	22ФВС-6

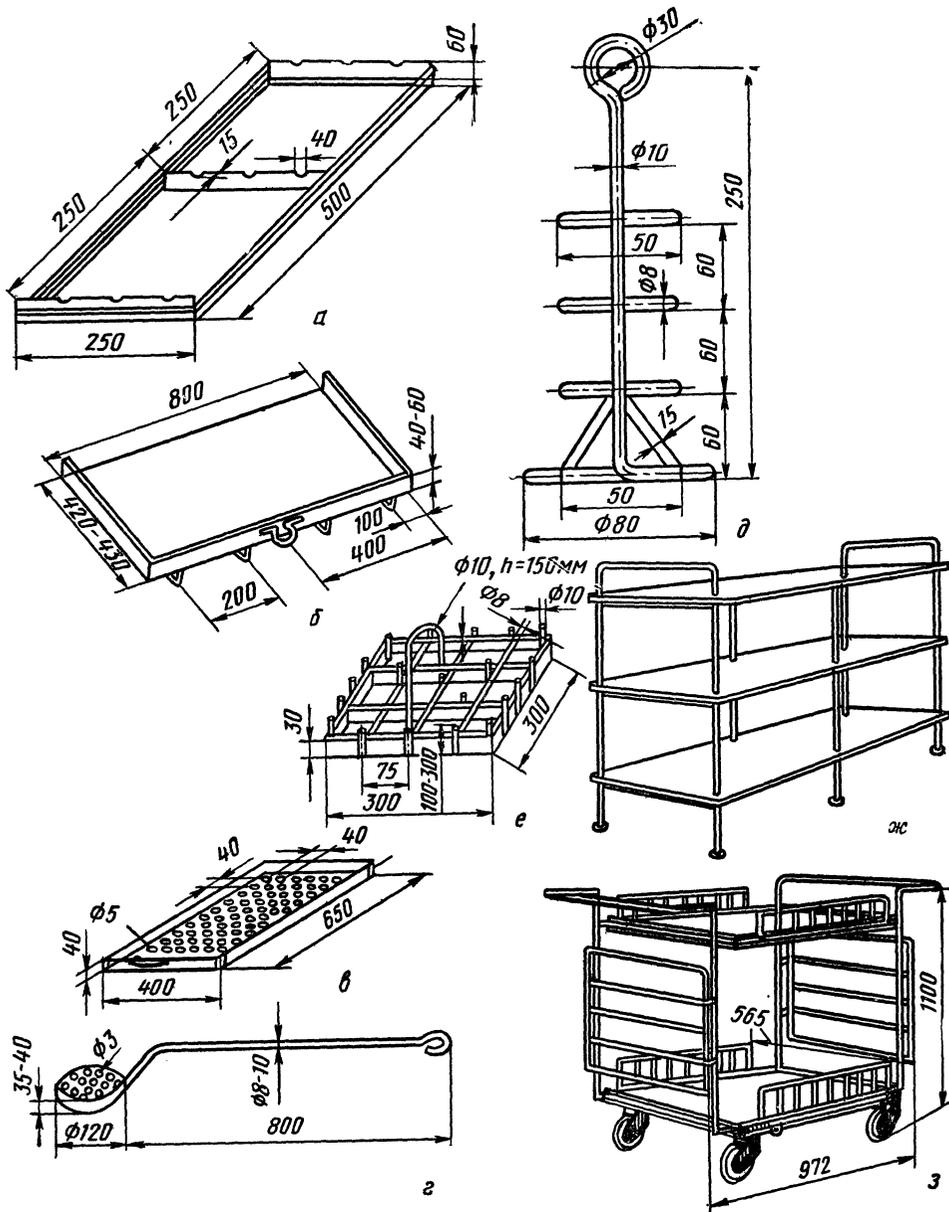


Рис. VII 12. Приспособления, применяемые при термической обработке деталей:

a — поддоны для обработки валов и штоков в камерных печах; *b* — поддоны с салазками для обработки мелких и средних изделий в камерных печах; *в* — противень для отпуска мелких изделий в камерных печах; *г* — ковш для очистки соляных ванн от шлака и загрязнений; *д* — елочка для нагрева и закалки пружин в соляных ваннах; *e* — подставка для нагрева, закалки и отпуска изделий типа брусков в камерных и шахтных печах; *ж* — стеллажи для складирования и хранения технологической оснастки и изделий; *з* — передвижной стол для межоперационной транспортировки деталей

сливной трубой, сваренной в дно ванны. Кроме крановых колес, на этой установке обрабатывают правильные ролики, бандаж и другие изделия.

Другой разновидностью сорбитизационной установки является машина, конструкция которой представлена на рис. VII.10. Нагретое выше критической точки A_{c3} колесо зажимают в конусах машины и приводят во вращение от электродвигателя. Частоту

вращения можно плавно регулировать при помощи вариатора. Установлен регулятор уровня воды в закалочном баке. Это дает возможность подвергать термической обработке крановые колеса диаметром 650—1150 мм. Твердость и глубину закаленного слоя регулируют изменением глубины погружения колеса в воду или длительностью его вращения.

При закалке валков холодной прокатки иногда применяют специальное струйчатое устройство (рис. VII.11). Холодную воду в устройство подают под избыточным давлением 1,5 ат. Внутреннее охлаждение прерывистое; его продолжительность составляет $\frac{1}{3}$ от длительности наружного охлаждения. Время пребывания валка в воде, исходя из его конфигурации, температуры воды и диаметра внутреннего канала, определяют по эмпирическим формулам.

На рис. VII.12 показан общий вид некоторых приспособлений, применяемых в термических цехах.

5. Бездеформационная термическая обработка и очистка деталей после термической обработки

Деформации при термической обработке неизбежны. В зависимости от материала деталей, технологии и режима термической обработки они имеют различную величину. При бездеформационной термической обработке также будут деформации, но они настолько малы, что не имеют практического значения, поэтому такую термическую обработку и называют бездеформационной. На практике обычно применяют способы, предупреждающие возникновение деформаций, и способы, уменьшающие или ликвидирующие деформации.

К способам, предупреждающим возникновение деформаций, относятся создание технологичных форм изделий, применение легированных сталей с малой критической скоростью закалки, увеличение припусков. Широко используют и способы, уменьшающие деформации. К их числу относятся закалка под давлением, закалка в горячих средах, совмещение термической обработки с вращением, холодная и горячая правка, применение промежуточных отжигов, горячая правка методом термического натяжения, использование явления сверхпластичности сплавов.

Способ закалки под давлением предусматривает фиксирование формы изделия при закалке в прессе с одновременным охлаждением в соответствующей среде. Этот метод применяют для закалки шестерен, дисков, распределительных валов и др. Форма при закалке может фиксироваться одновременно по различным плоскостям в зависимости от конструкции применяемого штампа; например, при закалке шестерен форма фиксируется одновременно по зубу, внутреннему диаметру и торцу. В табл. VII.32 представлена техническая характеристика закалочных прессов, выпускаемых отечественной промышленностью.

Способ горячей правки методом термического натяжения успешно применяется для устранения деформации полых изделий небольших размеров. Примером является процесс правки листовых обечаек диаметром 300—500 и толщиной стенки 6—8 мм, изготовленных из хромоникелевой нержавеющей стали. Использование оправки с раздвижными секторами и автономным устройством

Таблица VII.32

Типы и характеристика прессов, применяемых для закалки под давлением

Модель	Диаметр закаливаемых изделий, мм		Наименьший диаметр отверстия изделия, мм		Наибольшая толщина закаливаемого изделия, мм	Продолжительность цикла закалки, с		Максимальное усилие, тс	Расстояние между опорными плоскостями в закрытом положении, мм	Размеры, м	Масса, т	Назначение
	наибольший	наименьший	с расширителем	без расширителя		наибольшая	наименьшая					
5770	320	140	95	45	100	95	10	25	260	2,9×1,7×2,4	6	Закалка шестерен Закалка плоских изделий (в том числе конических и цилиндрических зубчатых колес)
	5771	635	—	—	75	—	—	6	—	2,1×1,2×2,3	6,5	
5771А	500	200	125	60	75	360	10	7	215	2,1×1,4×2,0	3,3	Закалка конических шестерен (тарельчатого типа), цилиндрических шестерен, колес и плоских изделий Закалка цилиндрических и конических зубчатых колес плоского типа
	5772	800	150	55	200	1020	60	30	215	3×2,3×3,0	10	

Примечание. Прессы изготавливает Саратовский завод тяжелых зуборезных станков

для создания усилия при нагреве (рис. VII.13) обеспечивает достаточную радиальную деформацию в процессе отжига и практически устраняет любую эллиптичность обечаек указанного типа. Оправка состоит из центрального стержня 1, изготовленного из стали X17H2, промежуточной втулки 2 с наружными конусами, втулки 5 и раздвижных секторов 3, изготовленных из стали 12X18H9T. При нагреве промежуточная

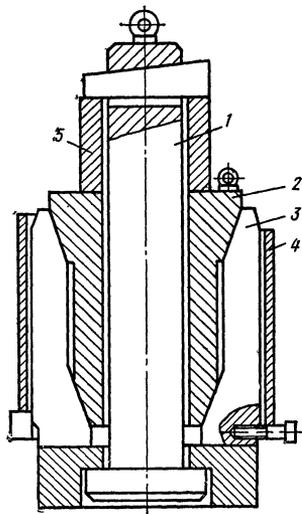


Рис. VII.13. Оправка с автономным осаживающим устройством

втулка 2 и втулка 5, удлиняясь больше стержня, разжимают секторы 3, спрофилированные по диаметру обечаики 4, и, устраняя эллиптичность, придают изделию правильную форму. При высоте осаживающего устройства 1 м, температуре отжига 750°C и конусе промежуточной втулки 70° радиальная раздача секторов составляет 8 мм, т. е. оправка может устранить эллиптичность 16 мм.

Для преодоления деформаций весьма перспективно использовать явление сверхпластичности, кратковременно возникающей в стали в процессе фазовых превращений при термической обработке. Известно, что пластичность в период фазовых превращений возрастает в 3—20 раз (в зависимости от химического состава стали, вида фазовых превращений и др.). Максимальный эффект возрастания пластичности наблюдается в начальный период фазовых превращений. На использовании явления сверхпластичности основана термофиксация при обработке ряда деталей (рессор, спиральных пружин, поршневых колец и др.). В настоящее время этот метод применили при термической обработке зубчатых колес, спиральных цилиндрических сверл, дисковых пил, отрезных и прорезных фрез, ножовочных полотен и др. Так, после нагрева спиральных цилиндрических сверл под закалку их подвергают промежуточному охлаждению в жидкой среде при температурах $300\text{—}650^{\circ}\text{C}$; затем сверла поступают во многопозицион-

ный автоматический правильный станок, где их зажимают между валками, вместе с которыми они вращаются под струей эмульсии и, находясь в таком положении в период протекания мартенситного превращения, остаются практически прямыми. Их биение обычно не превышает 0,03—0,08 мм, что вполне допустимо. Плоские инструменты из быстрорежущей стали подвергают релаксационной правке в процессе отпуска после закалки; их зажимают между двумя планшайбами (рис. VII.14), которые стягивают

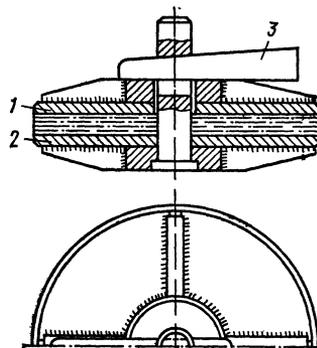


Рис. VII.14. Приспособление для правки плоского инструмента.

1 — прижим; 2 — основание;
3 — клин

болтами или клином и помещают в термическую печь. После каждого отпуска гайки зажимного приспособления проворачивают до отказа или подтягивают клин; это позволяет постепенно уменьшить деформацию инструмента.

При соприкосновении поверхности изделий с окислительной газовой средой (в частности, с воздухом) в области высоких температур происходит окисление и обезуглероживание, причем толщина поврежденного слоя с течением времени и повышением температуры увеличивается. Для устранения окисленного и обезуглероженного слоя применяют очистку изделий после термической обработки. В настоящее время широко применяют комплексный безокислительный нагрев и охлаждение изделий в процессе термической обработки. Так, изделия нагревают в контролируемых и нейтральных атмосферах, в соляных и свинцовых ваннах и др. Однако полностью избежать соприкосновения изделий с окислительной средой пока невозможно, поэтому объем очистных операций в термических цехах достаточно велик.

Ранее в термических цехах в основном осуществляли очистку деталей сухим кварцевым песком. Однако применение кварцевого песка может вызвать профессиональные заболевания у рабочих-пескоструйщиков. Поэтому этот вид очистки изделий в настоящее время запрещен. Одним из способов, заменяющих очистку деталей кварцевым песком, является очистка металлическим песком. Для очистки деталей металлическим песком можно применять такое

Таблица VII.33

Режимы очистки изделий металлическим песком

Изделия	Средний размер зерен песка, мм	Давление сжатого воздуха, кгс/см ²
Чугунные отливки массой, кг:		
1—5	1,0	4—5
5—20	1,5	5—6
20—100	2,0	6
>100	2,5	6
Стальные отливки массой, кг:		
≤20	1,0	5—6
20—100	1,5—2,0	6
>100	2—2,5	6
Бронзовые отливки массой, кг:		
≤10	0,8	4—5
10—30	1,0	5—6
>30	1,5	6
Алюминиевые отливки массой, кг:		
≤1	0,3	2,5
1—5	0,5	3—3,5
5—15	0,8	3,5—4
15—30	1,0	4—4,5
>30	1,5	5
Поковки, штамповки, изделия после термической обработки массой, кг:		
≤0,5 и изделия с резьбой	0,3	2—2,5
0,5—3	0,5	2,5—3
3—15	0,8	3—4
15—35	1,0	4—5
35—60	1,5	6
>60	1,5—2	6
Поверхность изделий под электролитическое покрытие	0,3—0,5	3,5

же оборудование, как и для очистки кварцевым песком, без существенной его модернизации.

Для очистки металлических изделий наиболее часто применяют чугунный песок, получаемый на специальной установке разбрызгиванием чугуна в жидком состоянии, последующим размолом и прессованием. Полученный таким образом чугунный песок с острыми гранями имеет твердость HRC51—56, объемную массу 4—4,5 т/м³ при плотности 7 кгс/м³. Песок сортируют по фракциям на вибрационных ситах. Режим очистки изделий чугунным песком представлен в табл. VII.33.

Для очистки мелких, а также резьбовых изделий и инструмента иногда применяют корундовую крошку. Она представляет собой регенерированные абразивные зерна

Таблица VII.34

Режимы ультразвуковой очистки

Вид очистки	Режим	Оборудование	Примечание
Очистка изделий сложной формы от продуктов коррозии и устранение дефектов перед гальваническими покрытиями	Травление (серная кислота 100 мг/л, соляная 50 мг/л, 60° С, выдержка 2 мин), промывка	Генератор УЗГ-10М. Ванна из винилласта	Травление в ванне производится одновременно с обезжириванием и удалением дефектов
Очистка изделий из нержавеющей стали после термической обработки	Обезжиривание в бензине. Травление (8—10% HNO ₃ , 45 г/л NaF, выдержка 20 мин), промывка. Ультразвуковая очистка (сода 3%, 50—60° С, выдержка 3 мин)	Генератор УЗГ-100М. Обычная ванна с преобразователем ПСМ-6	Между операциями не должно быть разрыва
Очистка изделий из конструкционной стали перед гальваническими покрытиями	Травление (100 мг/л H ₂ SO ₄ , 50 мг/л HCl, 5 г/л NaCl, выдержка 0,5—5 мин), промывка	Генератор УЗГ-10М. Ванна из винилласта	Травление можно производить без ультразвука, но с последующим снятием шлака в воде ультразвуком

электрокорунда из перемолотых отходов и использованных абразивных кругов. Корундовая крошка при очистке почти не изменяет геометрию изделий, поэтому она вполне приемлема для очистки точных изделий и различных видов инструмента. Изделия, очищенные корундовой крошкой, имеют темно-серый цвет. Очистку можно осуществлять в обычных аппаратах эжекционного типа. Очистка корундовой крошкой дает возможность исключить те недостатки, которые отмечаются при очистке металлическим песком — физические свойства поверхности изделий практически не изменяются, т. е. не нарушаются магнитные, коррозионные и другие свойства. Запыленность воздушной среды у аппарата при работе с корундовой крошкой 1—2 мг/м³ при норме 5 мг/м³.

В последнее время начали применять очистку деталей в электрозвуковом поле, где действуют упругие колебания с частотой 16—20 кГц. Сушность ультразвуковой очистки состоит в следующем. При распространении ультразвуковых колебаний в жидкости поочередно возникает сжатия и разрежения. В момент разрежения происходят локальные разрывы жидкости и образуются пузырьки (полости), которые заполняются парами жидкости и растворенными в ней воздухом и другими газами. В момент сжатия пузырьки сплющиваются, что сопровождается сильными гидравлическими ударами. Эти удары приводят к очистке поверхности изделий от загрязнений и других дефектов. Окалину при ультразвуковой очистке удаляют следующим образом. При предварительном травлении изделий в кислоте (до ультразвуковой обработки или в процессе обработки) окалина разрыхляется, в ее порах и трещинах накапливаются мелкие пузырьки водорода, образующие в дальнейшем центры гидравлических ударов; при последующей ультразвуковой обработке пузырьки, сплющиваясь, создают местные взрывы, в результате чего окалина удаляется с поверхности металла. В табл. VII.34 приведены оптимальные режимы ультразвуковой очистки поверхности изделий от окалин.

6. Виды брака при термической обработке стали

Основным условием предотвращения брака при термической обработке является строгое соблюдение технологического процесса, который должен устанавливаться на основании опытных и литературных данных. Брак может быть исправимым и неисправимым. Неисправимый брак связан с нарушением химического состава поверхностных слоев металла при окислении, а также с пережогом и короблением изделия. Остальные виды брака исправимы. Однако получить высокое качество термической обработки после исправления брака трудно. В табл. VII.35 приведены основные виды брака при термической обработке и способы их предотвращения и исправления.

7. Технология и режимы термической обработки со сквозным прогревом деталей машин

Детали оборудования металлургических цехов и станочного оборудования

Термической обработке со сквозным прогревом подвергают большое число деталей металлургических, горных, строительных и других машин: разнообразных валы и оси, шестерни, зубчатые муфты и втулки, ролики и звенья цепей, ножи, правильные ролики, элементы подшипников и т. д. Срок службы подавляющего большинства деталей за счет применения термической обработки со сквозным прогревом возрастает в несколько раз.

В табл. VII.36—VII.42 приведены режимы термической обработки ряда деталей оборудования агломерационных, доменных, сталеплавильных и прокатных цехов, деталей станков, элементов горных машин и др.

Более подробно остановимся на особенностях термической обработки прокатных валков, крановых колес, деталей из высокомарганцевистой стали и др.

Валки горячей прокатки

Валки горячей прокатки изготавливают из различных сталей литьем или ковкой. Для получения необходимой твердости и структуры литые валки подвергают сложной термической обработке.

Структура металла литых валков из стали марок У12 и 150ХНМ должна состоять из тонкопластинчатого перлита и избыточных карбидов цементитного типа, из сталей 60ХГН и 80ХГН — из тонкопластинчатого перлита, а в структуре валков из сталей 50ХН и 60ХН допускается присутствие ферритной сетки по границам зерен. Режим термической обработки литых валков из стали 60ХН, по данным ММК, следующий: посадка в печь при температуре 250°С, выдержка 4 ч; нагрев до 650°С со скоростью 40°С/ч, выдержка 3—5 ч; нагрев до 950°С со скоростью 60°С/ч, выдержка 18—22 ч; охлаждение на воздухе до 550—600°С; нагрев до 850—870°С со скоростью 80°С/ч, выдержка 14—18 ч, охлаждение на воздухе до 400—500°С; нагрев до 600°С со скоростью 80°С/ч, выдержка 12 ч, охлаждение с печью до 200°С со скоростью 25°С/ч. Длительность термической обработки 110 ч.

Таким образом, для литых валков из стали 60ХН применяют двойную нормализацию с нагревом в первой ступени до 950°С, а во второй до 850—870°С. При такой термической обработке все избыточные карбиды при нагреве в первой ступени переводятся в твердый раствор, устраняется дендритная неоднородность, образовавшаяся в результате первичной кристаллизации стали, а во второй ступени в результате получения мелкого исходного аустенитного зерна обеспечивается получение сорбитной или перлитно-сорбитной структуры.

Литые валки из стали марки 150ХНМ на ММК подвергают следующей термической обработке: а) на твердость НВ300—330 —

Т а б л и ц а VII.35
Виды брака при термической обработке стали

Характеристика брака	Метод определения	Основные причины брака	Основные мероприятия по предотвращению и исправлению брака
1	2	3	4

Брак при отжиге и нормализации конструкционной стали

Низкие пластические свойства при мелкозернистом изломе	Испытание образцов на растяжение	Температура отжига или продолжительность выдержки ниже требуемых	Повторный отжиг или нормализация при предусмотренной технологической инструкцией температуре
Крупнозернистый излом; низкие пластические свойства и ударная вязкость (перегрев) Весьма крупнозернистый блестящий излом (пережог)	Осмотр излома; испытание образцов на растяжение и ударную вязкость Осмотр излома; микроанализ	Значительное превышение температуры или излишне длительная выдержка Нагрев стали в окислительной атмосфере при температуре, близкой к температуре плавления Повышенная скорость охлаждения	То же Брак неисправимый
Высокая твердость	Определение твердости		Повторный отжиг с меньшей скоростью охлаждения

Брак при отжиге инструментальной (в том числе быстрорежущей) стали

Высокая твердость	Определение твердости	Недогрев; повышенная скорость охлаждения при обычном отжиге или малая выдержка при изотермическом отжиге	Повторный отжиг при требуемой температуре с охлаждением по установленному графику или высокотемпературный отпуск
Карбидная сетка	Просмотр шлифа под микроскопом	Нагрев деталей выше <i>A_{cm}</i>	Нормализация с последующим отпуском при 670—700°С с выдержкой не менее 2 ч

Брак при закалке стали

Трещины	Осмотр изделия, испытание на дефектоскопе, проба керосином, краской	Напряжения, возникающие из-за объемных изменений при переходе аустенита в мартенсит при температурах ниже 250°С	Брак неисправимый. Для его предупреждения следует: по возможности применять ступенчатую или прерывистую закалку; изготавливать детали из сталей, закаливающихся в масле; избегать изготовления деталей с резкими переходами сечений; медленно нагревать закаленные изделия при повторной закалке; выточки, отверстия у краев, резкие переходы изолировать асбестом
---------	---	---	--

Недостаточная твердость

Определение твердости

Пониженная температура нагрева под закалку, недостаточная выдержка или малая скорость охлаждения

Для исправления брака изделия следует нормализовать или отжечь и снова закалить с соблюдением технологического режима

Повышенная хрупкость, крупнозернистый излом

Осмотр излома, определение ударной вязкости

Значительное превышение температуры закалки или излишне длительная выдержка

Для исправления брака изделия следует нормализовать или отжечь и снова закалить с соблюдением технологического режима

Мягкие пятна

Определение твердости в разных частях детали

Неэнергичное охлаждение, местное обезуглероживание, образование окалины, неравномерная величина зерна, загрязненность неметаллическими включениями, соприкосновение деталей при охлаждении

Брак исправимый, кроме случаев местного обезуглероживания. Для исправления брака изделия следует нормализовать и закалить с применением большей скорости охлаждения или же повысить температуру закалки на 20—50°С выше предусмотренной технологической инструкцией

Окисление и обезуглероживание

Окисление — осмотром; обезуглероживание — определением твердости и анализом микроструктуры

Соединение кислорода, находящегося в печи, с железом изделий при окислении и с углеродом при обезуглероживании

При глубине проникновения больше, чем припуск на шлифование, брак не исправим. Для предотвращения брака в печь вводят контролируемую атмосферу; при ее отсутствии детали нагревают в ящиках с чугушной стружкой, древесным углем и др. В соляные ванны для предохранения от обезуглероживания добавляют молотый ферросилиций, буру, борную кислоту, желтую кровяную соль

Брак исправимый. Для его исправления производят: правку; шлифовку, если коробление не превышает припуска на шлифовку. Для предотвращения брака необходимы замедленное охлаждение изделия в мартенситном интервале температур, правильное погружение в закалочную среду и равномерный нагрев

Коробление (изменение формы)

Проверка биения на центрах или шупом — на плите

Неправильное погружение изделия в охлаждающую среду, напряжения в изделии перед нагревом и др.

Брак в основном неисправимый. Для предотвращения брака следует понизить температуру закалки, уменьшить скорость охлаждения, применить мелкозернистые и легированные стали

Деформация (изменение размеров)

Проверка размеров

Структурные превращения в интервале температур 650—500°С и ниже 300°С, вызывающие деформации

1	2	3	4
Разъедание (точечное или ручьеобразное) поверхности изделий	Осмотр изделия	Неравномерное образование окалины. Повышенное содержание сернокислых солей и химическое действие хлористых солей в соляных ваннах. Соприкосновение с разлившимся поду печи свинцом	Брак можно предотвратить тщательным контролем состава солей для нагрева, раскислением соляных ванн, засыпкой зеркала свинцовой ванны древесным углем, устранением окислительной атмосферы в печах, наблюдением за чистотой пода печи
<i>Брак при отпуске стали</i>			
Повышенная твердость и низкие пластические свойства. Для быстрорежущей стали пониженная твердость	Определение твердости	Пониженная температура или недостаточная выдержка	Повторный отпуск по предусмотренному технологической инструкцией режиму
Пониженная твердость и низкие предел прочности и предел упругости	Определение прочности при растяжении и твердости	Отпуск при температуре выше требуемой	Отжиг или нормализация, а затем закалка и отпуск по предусмотренному технологической инструкцией режиму
Низкая ударная вязкость после отпуска при 450—600° С и медленного охлаждения (обратимая отпускная хрупкость)	Испытание на ударную вязкость	Диффузия растворенных атомов некоторых элементов (например, фосфора) к границам зерен и пересыщение поверхностных слоев этими элементами	Брак можно предотвратить: охлаждением в воде или масле после отпуска при 450—600° С, применением стали, содержащей молибден и вольфрам. Устранить брак можно повторным отпуском с охлаждением в воде или масле (температуру повторного отпуска следует повысить на 20—30° С по сравнению с температурой первого отпуска)

Таблица VII.36

Режимы термической обработки деталей агломерационного оборудования

Наименование механизма, узла, детали	Марка стали	Закалка			Отпуск			Твердость НВ (HRC)
		температура, °С	продолжительность выдержки, мин	охлаждающая среда	температура, °С	продолжительность выдержки, ч	охлаждающая среда	
Ролики спекательных тележек	50Г2	810—830	30	Масло	500—550	2—3	Воздух	350—400
Ролики металлической ленты пластинчатого питателя	50Г2	800—820	30	»	500—550	1,5—2	»	280—350
Уплотнительные пластины спекательных тележек	40Х	840—860	30	»	300—320	2—2,5	Масло	(44—48)
Надставки тележек для обжига окатышей	12Х18Н9Т	1050	60	Вода	—	—	—	—
	40Х9С2	1050	60	Масло	640—660	3—4	Масло	260—320
	40Х10С2М	1050	60	»	640—660	3—4	Воздух	260—320
Бандажи четырехвалковой дробилки	40ГЛ	840—850	45	»	380—400	6—7	»	321—340
	40Х	840—860	40	Вода	240—260	2—2,5	»	(48—51)
Била молотковой дробилки	50Г2	810—830	30	Вода	340—380	2—2,5	»	387—415
	85	780—800	40	(рабочая часть на длине 100—120 мм) Вода (рабочая часть на длине 100 мм)	160—200	2,5—3,0	Воздух	(рабочая часть), 170—220 (нерабочая часть) (56—58)—рабочая часть
Лопастей ротора эксгаустера	30ХГСА	840—860	30	Масло	280—320	3—4	»	380—420
Диски механизма для истирания агломерата	40Г2	800—820	25	»	280—320	2—2,5	»	311—345
	45	820—840	25	Вода — масло	250—300	1,5—2,0	»	321—375
	50Г2	800—820	20	Масло	260—300	2—2,5	»	386—423
Детали вибрационного грохота горячего агломерата:								
шестерня	40Х	840—860	20—60 (в зависимости от модуля)	»	580—650	2,5—3,0	Масло	280—380
болт	15ХМ	860—880	20	Масло	550—650	2—2,5	Воздух	250—280
	12Х18Н9Т	1050	40	Вода	—	—	—	—
поперечные стержни и сплошная часть деки плиты грохота и вибратора, проушина для подъема	14ХМНДФР	880—900	60	»	550—600	2,5—3,0	Воздух	315—342
	45	840—860	40	»	620—650	2—2,5	Масло	240—280
вал	50ХФ	820—840	20	Масло	400—450	2—2,5	Воздух	—
пружина								

Примечание. При закалке уплотнительных пластин спекательных тележек их извлекают из закалочного бака при температуре 250—300°С и подвергают рихтовке; охлаждение после рихтовки на воздухе.

Таблица VII.37

Режимы термической обработки деталей оборудования доменных цехов

Наименование механизма, узла, детали	Марка стали	Закалка			Отпуск			Твердость HB (HRC)	
		температура, °С	продолжи- тельность выдержки, мин	охлаждающая среда	температура, °С	продолжи- тельность выдержки, ч	охлажда- ющая сре- да		
Ходовые колеса скипов	65Г	800—820	30	Масло	450—500	3—4	Воздух	243—342	
	50Г2	820—840	45	Вода (выдержка 2 мин)	Самоотпуск	—	—	320—380	
	40Х	840—860	45	Вода (выдержка 1,5 мин)	»	—	—	320—380	
Вал-шестерня механизма прижима электропушки для забивки летки доменной печи	40Х	840—860	30	Масло	560—620	3—4	Вода	300—350	
Цилиндрические и конические шестерни вагон-весов, редуктора скипового подъемника подъемника коксовой мелочи	38ХГН	850—870	20—60	Масло	580—620	2—3	Масло	300—350	
Литые цилиндрические зубчатые колеса (редуктора электропушки и подъемника коксовой мелочи)	35ХНЛ	860—870	90	»	600—630	3—4	Вода	240—280	
	40ХГЛ	840—860	90	»	580—630	3—4	»	240—280	
	45Л	820—840	60	Вода	580—630	2—3	Воздух	240—280	
Звенья, втулки, оси и валики цепей маневрирования конусами доменных печей	37ХНЗА	820—840	30	Масло	480—500	3—4	Масло	321—364	
	40Х	840—860	25	»	460—480	3—4	»	321—364	
Диски коксового грохота	35ХГ2	840—860	20	»	200—240	3—4	Воздух	(47—51)	
	У9А	770—790	20	Вода	200—250	2—3	»	(56—60)	
	110Г13Л	1075—1100	45	»	—	—	—	189—223	
Оси цепи разливочной машины	45	820—840	20	Вода	300—350	1—1,5	Воздух	332—402	
Детали распределителя шихты:									
	опорный и поддерживающий ролики	40Х	840—860	50	»	200—250	3—3,5	»	(56—60)
		50Г2	820—840	50	»	200—250	3—3,5	»	(58—61)
	полукольца подшипника	ШХ15	830—860	40	Масло	200—250	2—2,5	»	(58—61)
	ролики подшипника	9ХС	850—870	15	»	240—260	1,5—2,0	»	(54—58)

Примечание. Закалку опорного и поддерживающего роликов производят в сорбитизационной машине (погружение в воду на глубину 40—50 мм на 3—5 мин при частоте вращения 15 мин^{-1}) с последующим самоотпуском.

Т а б л и ц а VII 38

Режимы термической обработки деталей оборудования сталеплавильных цехов

Наименование механизма, узла, детали	Марка стали	Закалка			Отпуск			Твердость НВ
		температура, °С	продолжительность выдержки, мин	охлаждающая среда	температура, °С	продолжительность выдержки, ч	охлаждающая среда	
Редуктор механизма передвижения тележки мостового крана: шестерни	40Х	850—870	35	Масло	520—560	2,5—3	Масло	300—350
	38ХГН	830—850	40	»	580—600	3—3,5	»	300—350
	45	840—860	30	Вода	500—540	2—3	Воздух	260—300
валы вал-шестерня	45	840—860	30	»	520—580	2—3	»	260—280
	38ХГН	830—850	20	Масло	520—560	2—3	Вода	248—277
	40Х	850—870	20	»	520—560	2—3	»	248—277
	45	840—860	20	Вода	500—520	2—3	Воздух	248—277
Вал-шестерня механизма передвижения тележки завалочной машины	38ХГН	830—850	50	Масло	520—560	4—5	Вода	248—277
	40Х	850—870	50	»	520—580	4—5	»	248—277
	45	840—860	50	Вода	500—520	4—5	Воздух	248—277
Ось тележки завалочной машины	45	840—860	30	»	480—520	2—3	»	300—340

Примечание. Закалка вал-шестерен осуществляется частичным погружением их в охлаждающую среду на длину 140 мм со стороны шестерни в вертикальном положении.

Таблица VII.39

Режимы термической обработки деталей оборудования прокатных цехов

Наименование механизма, узла, детали	Марка стали	Закалка			Отпуск			Твердость НВ (HRC)	Срок службы, мес	
		температура, °С	продолжительность выдержки, мин	охлаждающая среда	температура, °С	продолжительность выдержки, ч	охлаждающая среда		без термической обработки	термически обработанных
Шестерня коническая ступенчатых роликов блюминга	45	820—840	30	Вода	350—400	2—3	Воздух	(34—36)	3	4
	40X	850—870	30	Масло	350—400	2—3	Масло	(35—38)	4	6
Цилиндрическая шестерня трансмиссии рабочего рольганга блюминга	45	820—840	40	Вода	350—400	2—3	Воздух	(33—38)	2	4
	38XГН	850—870	40	Масло	350—400	2—3	Масло	(36—40)	4	6
Коническая шестерня механизма передвижения слитковоза блюминга	30XГСА	860—880	35	»	350—400	3,5—4	Вода	321—340	6	10
Эксцентрик виммерного устройства	65Г	800—820	30	»	380—400	2—3	Воздух	(38—45)	—	60
Муфта соединительная шпинделя стана 250	45	820—840	30	Вода	350—400	2—3	»	(35—37)	0,5	3
Зубчатая полумуфта нажимного устройства листового стана	45	820—840	40	»	500—540	2—3	»	(28—34)	6	18
Вал-шестерня привода летучих ножиц	40ХН	820—840	30	Масло	480—500	2—3	Масло	(28—32)	1	2
Шестерня электродвигателя нажимного устройства стана 950	40X	840—860	30	»	540—560	3—4	»	(28—30)	6	16
	40ХН	820—840	30	»	540—560	3—4	»	(30—34)	6	18
Шестерня червячного вала редуктора стана 950	40X	840—860	40	»	420—440	2—3	»	(34—38)	6	10
Шестерня ролика рабочего рольганга стана 950	45	820—840	40	Вода	270—300	2—3	Вода	(38—41)	6	12
Ролик манипулятора стана 750	40X	840—860	30	Масло	250—280	2—3	Воздух	(40—44)	12	24

Шестерня трансмиссии консольного рольганга стана 630	40ГЛ	840—860	40	Масло	500—550	2—3	Масло	(30—34)	4	12
Зубчатая муфта рабочей клетки стана 300	50	820—840	40	Вода	320—350	2—3	Воздух	(38—44)	—	36
Шарнирная муфта стана 300	40Х	840—860	40	Масло	300—350	2—3	»	(34—38)	2,5	10
	45	820—840	40	Вода	300—350	2—3	»	(34—38)	1,5	6
Шестерня привода передвижения шеквины разматывателя рулонов стана холодной прокатки	40Х	840—860	30	Масло	400—450	3—4	Масло	(36—38)	2	5
	38ХГН	840—860	30	»	400—450	3—4	»	(36—38)	2	5
Звено цепи муфельного конвейера стана 250	45	820—840	30	Вода	400—450	3—4	Воздух	(30—34)	1	2
	40Л	840—860	50	»	450—500	3—4	»	286—321	—	—
Ролик цепи универсального стана	40Х	840—860	40	Масло	420—450	2—3	»	321—363	—	—
Муфта чистовой группы проволочно-го стана 250	40Х	840—860	40	»	350—400	3—4	»	350—380	—	18
	50	820—840	40	Вода	350—400	3—4	»	330—350	8	12
Детали цепи переключателя устро- ройства стана 350-2 (пластина, ось, ролик, втулка)	45	820—840	30	Вода	480—520	2—3	Воздух	300—350	10	18
	40Х	840—860	40	Масло	520—550	2—3	»	300—350	—	24
Шестерня II вала редуктора меха- низма главного подъема пратцен- крана	45	820—840	30	Вода	350—400	2—3	»	(35—37)	3	9
	45Х	840—860	30	Масло	350—400	2—3	»	(38—40)	4	12
Вал-шестерня механизма передвиже- ния пратцен-крана	45	820—840	40	Вода	400—450	3—4	»	(30—36)	2	4
Вал-шестерня механизма главного подъема крана грузоподъемностью 30/10 т	35	850—880	40	»	360—380	2—3	»	(28—32)	3	6
	40Х	840—860	40	Масло	360—400	2—3	»	(30—38)	4	12
Ролики для правки металла *	9Х2	820—850	60	»	350—380	4—5	»	(51—54)	—	—
	38ХМЮА	880—900	60	Вода	220—250	3—4	»	(45—48)	—	—
Бандажи для правки рельсов **	38ХМЮА	880—900	60	»	200—240	3—4	»	(46—52)	—	—
	38ХГН	840—860	60	»	200—240	3—4	»	(46—50)	—	—
	70	840—860	60	Вода, выдержка 120—200 с	400—420	4—5	»	360—400	—	—
Ножи для горячей резки блюмов	6ХВ2С	960—980	60	Масло	620—640	3—4	Масло	280—320	6 сут	20 сут
	6ХС	850—870	60	»	500—520	3—4	»	300—360	3 сут	10 сут
Ножи для горячей резки трубной за- готовки	6ХВ2С	960—980	60	»	500—540	3—4	»	380—400	—	—
	6ХС	850—870	60	»	380—400	3—4	»	400—420	—	—
Ножи для холодной резки	6ХВ2С	960—980	60	»	340—360	3—4	»	(48—50)	—	—
	6ХС	850—870	60	»	240—270	3—4	»	(48—52)	—	—

* Закалку роликов и бандажей из стали 38Х2МЮА для правки металла производят в сорбитизационной машине при погружении рабочей поверхности на глубину 40—60 мм (продолжительность вращения 3—5 мин, частота вращения 15 мин⁻¹); затем следует самоотпуск.

** Бандажи для правки рельсов, изготовленные из стали 70, после термической обработки со сквозным прогревом подвергают газопламенной поверхностной закалке на твердость более HRC56.

Таблица VII.40

Типовые режимы термической обработки деталей станков

Детали и условия их работы	Марка стали	Закалка		Отпуск		Твердость HB (HRC)
		температура, °C	охлаждающая среда	температура, °C	охлаждающая среда	
Шестерни, работающие при низких скоростях и малых удельных усилиях (сменные шестерни)	45, 50	820—840	Вода	520—550	Воздух	220—250
Шестерни, работающие при повышенных изгибающих усилиях и небольших скоростях	40X	830—850	Масло	600—650	Масло	230—260
Шестерни, работающие при больших окружных скоростях и больших усилиях при отсутствии динамических нагрузок	40X, 35XMA	820—840	»	180—200	Воздух	(45—50)
Шестерни повышенной точности, работающие при небольших скоростях и средних усилиях	35XMA	850—860	»	500—550	Масло	241—280
Шестерни, работающие при высоких усилиях и средних окружных скоростях	35XMA	850—860	Масло	200—220	Воздух	(45—52)
Шестерни крупные малонагруженных тяжелых станков	45Г2, 50Г2	820—840	»	580—600	Масло	245—282
Шпиндели малонагруженные небольшого сечения, установленные в подшипниках качения	45, 50	820—840	Вода	520—550	»	220—250
То же, но сложной конфигурации	40X, 45X	830—850	Масло	600—650	»	230—260
Шпиндели, установленные в подшипниках качения и работающие при средних нагрузках и средних окружных скоростях	40X, 35XMA	820—840	»	180—200	Воздух	(43—50)
Валы и валики простой конфигурации, работающие при небольших окружных скоростях и нагрузках	45, 50	820—840	Вода	500—550	Масло	220—250
То же, но повышенной прочности	40X, 45X	830—850	Масло	600—650	Вода	230—260
Червяки, работающие при средних нагрузках	40X	820—840	»	600—650	»	230—260
Цанги	У8А	780—800	Вода	180—200 (350—400-хвостовая часть)	Воздух »	(57—60) (39—43)
Цанги	9ХС	840—870	Масло	230—260 (400—450-хвостовая часть)	» »	(55—62) (40—45)
Ролики, копиры	ШХ15	835—850	»	200—220	»	(59—63)
Роторы, установочные кольца, втулки, муфты, оправки и др	40X	820—840	»	180—200	»	(45—50)
Винты, болты, гайки, шайбы, установочные кольца и др	35, 40	850—860	Вода	200—300	»	(32—40)

Таблица VII.41

Типовые режимы термической обработки деталей горных машин

Наименование детали	Марка стали	Закалка			Отпуск		Твердость НВ (HRC)
		температура, °C	продолжительность выдержки, мин	охлаждающая среда	температура, °C	продолжительность выдержки, ч	
<i>Врубовая машина</i>							
Сегмент	45	820—840	20	Вода	250—270	1	(40—45)
Сухарь	ШХ15	820—840	20	Масло	180—200	1,5	(55—60)
Брус бара	45	820—840	30	Вода	650—680	1,5	197—229
Утюг бара	45	820—840	60	«	200—220	2	(50—55)
Валик	45	820—840	45	»	250—270	2	(40—45)
Стопор	40XH	820—840	20	Масло	250—270	1	(40—45)
Внутренний и наружный диски	45	820—840	15	Вода	200—220	1	(50—55)
Кулак	35XНЛ	840—860	60	Масло	480—500	2	285—307
Пружинное кольцо	45	840—860	10	Масло	270—300	1	(36—38)
Шлицевая втулка	40XH	820—840	35	»	300—320	0,5	(40—45)
Храповик	40XH	820—840	30	»	280—300	0,5	(45—50)
Шестерня (z=20, m=7)	45	820—840	30	Вода	250—270	1,5	(40—45)
<i>Грейдер-элеватор</i>							
Коническая шестерня (z=52, m=7)	40X	850—870	40	Масло	270—300	2	(38—42)
Зубчатый валик	45	840—860	30	Вода	270—300	1	(35—40)
Звездочка (z=5)	40X	850—870	30	Масло	270—300	1	(38—42)
Валик конической шестерни	45	840—860	30	Вода	480—500	1,5	286—307
Кулачковая и кольцевая шестерни (z=20, m=5)	40X	850—870	30	Масло	250—270	1,5	(40—45)
Кулачковая муфта	40X	850—870	20	»	270—300	1,5	(38—42)
Червяк	45	840—860	40	Вода	650—680	2	241—297
Вал муфты	40X	850—870	40	Масло	280—300	2	(35—40)
Ведущий и ведомый диски	50	820—840	15	Вода	180—200	1	(50—55)
<i>Проходческая лебедка</i>							
Пружины	55C2	800—820	30	Масло	380—400	1	(46—52)
Пальцы	45	840—860	20	Вода	250—270	1	(40—45)
Вал червячного колеса	40X	850—870	40	Масло	220—260	2	(40—45)
Захват	45	840—860	30	Вода	600—650	1	217—241
Серьга	45	840—860	30	»	620—650	1,5	217—241
Вилка	45	840—860	30	»	620—650	1	217—241
Ось	40X	850—870	30	Масло	620—650	1,5	241—276
<i>Отбойный молоток</i>							
Концевая пружина	55C2	800—820	40	»	380—400	1,5	(46—52)
Ударник	У8А	760—780	40	Вода	220—250	1,5	(50—55)
Шайба для рукоятки	45	820—840	30	»	180—200	1	(50—55)
Пика	У7А	780—800	30	»	280—300	1	(45—50)

Таблица VII.42

Типовые режимы термической обработки крепежных деталей

Марка стали	Закалка		Отпуск		Твердость НВ (HRC)
	температура, °C	охлаждающая среда	температура, °C	охлаждающая среда	
<i>Болты</i>					
40X	840—860	Масло	590—630	Вода	241—285
40XH	800—820	»	410—430	»	(33—38)
40XC	860—880	»	560—600	»	231—269
45	810—830	Вода	540—570	Воздух	241—285
18X2H4MA	860—890	Масло	170—200	»	300—444
37XH3A	850—860	»	650—670	Вода	(33—37)
20XГC	880—900	»	500—520	»	231—269
<i>Гайки</i>					
45	810—830	Вода	530—570	Воздух	(24—30)
35	840—850	»	540—560	»	(24—30)
40XH	790—810	Масло	540—560	Масло	(27—32)
40XC	860—880	»	650—690	»	(23—28)
<i>Винты</i>					
40XC	860—880	Масло	560—610	Масло	256—295
40X	840—860	»	590—630	Вода	241—285
40XH	800—820	»	540—560	»	(27—32)

тройная нормализация при температурах 1050, 820, 900°С с последующим отпуском при 600°С; б) на твердость НВ260—290 — нормализация при 1050°С с последующим отжигом при 620°С.

Кованые стальные валки в зависимости от марки стали подвергают следующим видам термической обработки: из сталей 50 и 55 — нормализации и отпуску; из сталей 40ХН и 9Х — закалке и отпуску; из сталей 55Х, 60ХГ, 50ХН и 60ХН — нормализации и отпуску или, по требованию заказчика, закалке и отпуску. Твердость бочки валков в зависимости от марки стали и режима термической обработки должна составлять НВ179—429.

На УЗТМ валки куют с одной осадкой при степени укова не менее 3. Горячие поковки передают на термическую обработку. Поковки из углеродистых и низколегированных сталей проходят нормализацию с отпуском по определенному режиму. Их нагревают до температуры нормализации 830—870°С и выдерживают после выравнивания температуры в течение времени, определенного из расчета 0,6 ч на 100 мм; затем охлаждают на воздухе до 250—550°С. Температура отпуска 580—660°С, продолжительность выдержки из расчета 1,2 ч на 100 мм. Охлаждение после отпуска: до 400°С со скоростью 40—60°С/ч, дальнейшее охлаждение до 250—300°С со скоростью 20—30°С/ч (в зависимости от сечения поковки). В тех случаях, когда валки проходят вторую нормализацию после обдирки, выдержку при отпуске рассчитывают следующим образом: 1 ч на 100 мм — для валков из углеродистых и низколегированных сталей и 1,9 ч на 100 мм — для валков из сталей 50ХН и 60ХН.

На НКМЗ кованые валки изготавливают в основном из сталей 50, 55, 55Х, 40ХН, 60ХН, 50ХН и 60ХГ. Ковку ведут с одной осадкой сляка при степени укова по бочке не менее 2,5—3. Поковки на термическую обработку (в основном нормализация с отпуском) поступают в горячем состоянии с температурой на поверхности минимального сечения не ниже 350°С. При первом переохлаждении до 300—350°С после выравнивания температуры их выдерживают из расчета 1 ч на 100 мм, а затем нагревают до 840—860°С. Выдержка при 840—860°С составляет 0,5 ч на 100 мм сечения. Охлаждают поковки на воздухе до температуры 300—350°С. Для равномерного охлаждения их периодически кантуют. При достижении температуры 300—350°С поковки помещают в печь и выдерживают при этой температуре из расчета 2 ч на 100 мм сечения. Температура отпуска 590—610°С, продолжительность выдержки 4 ч на 100 мм сечения. Охлаждение после отпуска ведут со скоростью 40°С/ч до температуры 400°С и 20°С/ч до температуры 100°С. Валки закалке с отпуском на НКМЗ подвергают только в тех случаях, когда это предусмотрено заказом. Нормы твердости после этой обработки в зависимости от марки стали следующие: сталь 50 НВ175, 55 НВ180, 55Х НВ210, 50ХН НВ207, 60ХН НВ230, 60ХГ НВ230.

Южно-Уральский и Ижорский машино-

строительные заводы изготавливают валки из тех же сталей, что и другие машиностроительные заводы. Ковку ведут с осадкой и со степенью укова по бочке не менее 2—3 (с учетом осадки). Валки из углеродистых сталей подвергают термической обработке в поковке, а из легированных — после грубой механической обработки. Термическая обработка, как правило, состоит из нормализации с отпуском или закалки с отпуском. Режимы этих операций не отличаются от описанных выше. В каждом конкретном случае в прокатных цехах устанавливают необходимый режим эксплуатации валков, исходя из условий их работы и твердости. Валки с повышенной твердостью следует устанавливать в чистовые и предчистовые клети. Наиболее твердые валки следует применять для прокатки круглых и квадратных профилей. Более мягкие валки могут работать на блюмингах, слябингах, и черновых клетях сортовых станов. Это объясняется тем, что валки с высокой твердостью более хрупки и их необходимо ограждать от динамических воздействий, которые наблюдаются на блюмингах, слябингах и черновых клетях сортовых станов. Валки средней твердости применяют для работы на рельсо-балочных станах.

На ряде металлургических предприятий для повышения стойкости валков их отпуск осуществляют перед постановкой в клеть, для чего в вальцетокарной мастерской на термическом участке устанавливают ванну для отпуска закаленных валков и оборудование для поверхностной закалки валков и отдельных участков быстроизнашивающихся калибров.

Валки холодной прокатки

Технология изготовления рабочих и опорных валков станов холодной прокатки неодинакова, поэтому рассмотрим ее в отдельности для каждого типа валков.

Маршрутная технология производства рабочих валков холодной прокатки включает в себя следующие основные операции:

- 1) выплавку стали заданной марки;
- 2) разливку стали в изложницы;
- 3) разделение слитков и передачу их в горячем состоянии в кузнечно-прессовый цех;
- 4) нагрев слитков в кузнечных нагревательных печах и ковку заготовок для валков холодной прокатки;
- 5) ковку поковок;
- 6) плавочный контроль поковок;
- 7) обдирку под предварительную термическую обработку, сверловку осевого канала (для валков с осевым отверстием);
- 8) предварительную термическую обработку;
- 9) механическую обработку под закалку;
- 10) сборку под закалку (при закалке со сквозным прогревом);
- 11) закалку;
- 12) отпуск;
- 13) замер твердости и заключение (предварительное) о пригодности;
- 14) окончательную механическую обработку (шлифовку);
- 15) второй отпуск (старение);
- 16) окончательную шлифовку, замер твердости;
- 17) контроль дефектов (на магнитном и ультразвуковом дефектоскопах, травлением);
- 18) нанесение защитного покрытия и упаковка.

Термическая обработка является одной из

наиболее ответственных операций в технологическом цикле изготовления валков. Она состоит из двух этапов: предварительной термической обработки (выполняемой непосредственно после ковки) и окончательной. К предварительной термической обработке поковок валков относят отжиг, улучшение, нормализацию с отпуском и др. Она должна обеспечить предотвращение образования флокенов, снижение твердости для облегчения последующей механической обработки, формирование в шейках валков и в центральной части бочки благоприятных для эксплуатации структуры и свойств, подготовку структуры поверхностных слоев к закалке. Предварительная термическая обработка (улучшение) приводит к полной ликвидации остатков карбидной сетки, измельчению карбидной фазы и образованию структуры зернистого или сорбитообразного перлита.

На ЭЗТМ, УЗТМ, Ижорском и других заводах тяжелого машиностроения в качестве предварительной термической обработки валков применяют отжиг с последующим термическим улучшением. Перед закалкой выполняют первичную механическую обработку (обдирку) валков. Технологическая схема предварительной термической обработки поковок валков на одном из этих заводов (УЗТМ) приведена на рис. VII.15. Приведенный режим составлен применительно к валкам из стали марок 9Х и 9Х2. Если в садке имеются валки из стали марок 9Х2В и 9Х2МФ, изотермическую выдержку увеличивают на 25%. При содержании водорода в жидкой стали выше $4,5 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ продолжительность изотермической выдержки при $650\text{—}680^\circ \text{C}$ увеличивают на 20—50% (в зависимости от содержания водорода).

Технологическая схема предварительной термической обработки, применяемая на УЗТМ, учитывает технологию последующей окончательной термической обработки. Если в качестве окончательной термической обработки применяют закалку со сквозным прогревом деталей, то первый этап предварительной термической обработки осуществляется по схеме, приведенной на рис. VII.15, а. Накопление поковок проводят при $300\text{—}400^\circ \text{C}$. Более низкая температура накопления (температура охлаждения после ковки) приводит к увеличению скорости охлаждения с температуры ковки и ограничивает возможность образования карбидной сетки. Низкая температура перекристаллизации при отжиге (790°C) способствует сохранению большого числа центров для превращения аустенита в мелкозернистый перлит, а относительно глубокое переохлаждение ($500\text{—}400^\circ \text{C}$) дополнительно повышает дисперсность структуры. Последующий отпуск при $670\text{—}690^\circ \text{C}$ в течение 32 ч обеспечивает коагуляцию карбидной фазы и достаточную степень обезводороживания.

Схема предварительной термической обработки валков в условиях УЗТМ включает улучшение с различными температурами высокого отпуска. Так, если при окончательной термической обработке применяют закалку с нагрева токами промышленной частоты, температура высокого отпуска находится в пределах $680\text{—}720^\circ \text{C}$. При применении за-

калки со сквозным прогревом температуру высокого отпуска повышают до $780\text{—}790^\circ \text{C}$, что практически соответствует отжигу.

Таким образом, отпуск при температуре $680\text{—}720^\circ \text{C}$ при последующей закалке с нагрева токами промышленной частоты обеспечивает достаточно высокую прочность сердцевин валков, тогда как та же степень упрочнения при последующей закалке со сквозным прогревом детали обеспечивается самым способом печного нагрева и спрейерного охлаждения. Поэтому вместо высокого отпуска можно нагревать валки до температуры отжига.

Режим предварительной термической обработки, применяемый на НКМЗ, значительно отличается от режимов других заводов. На этом заводе поковки валков подвергают двойной нормализации с последующим отпуском (рис. VII.16). Улучшение не проводят. Разновидностью такой термической обработки является режим с пониженной (до $450\text{—}480^\circ \text{C}$) температурой окончательного отпуска. Высокая температура аустенитизации ($950\text{—}960^\circ \text{C}$) способствует растворению карбидной сетки; последующее охлаждение на воздухе до $350\text{—}300^\circ \text{C}$ исключает возможность ее выпадения. Температура $840\text{—}850^\circ \text{C}$ при второй нормализации принята для устранения возможного перегрева стали при $950\text{—}960^\circ \text{C}$.

Экономическая целесообразность предварительной термической обработки по режиму, состоящему из двойной нормализации и последующего отпуска, очевидна. При проведении нормализации можно использовать высокопроизводительные ямные печи, исключается трудоемкая операция сборки валков под закалку, нормализация совмещается с обработкой, проводимой после ковки для предотвращения образования флокенов, исключается предварительная механическая обработка, значительно сокращается длительность цикла предварительной термической обработки. Так, по данным НКМЗ, для осуществления термической обработки валка с бочкой диаметром 500 мм по режиму двойной нормализации с отпуском требуется 160 ч, а по применявшемуся ранее режиму (отжиг с последующим термическим улучшением) 270 ч.

Крупные опорные валки (диаметр бочки $500\text{—}1700 \text{ мм}$) на НКМЗ подвергают предварительной термической обработке с применением промежуточного переохлаждения (рис. VII.17). После однократной осадки и ковки их загружают в термическую печь при $600\text{—}650^\circ \text{C}$ для накопления. Выдержка при температуре накопления $15\text{—}25 \text{ ч}$ (в зависимости от диаметра поковки). Такая выдержка обусловлена необходимостью выравнивания температуры поверхностных слоев валков и завершения превращения переохлажденного аустенита.

К концу выдержки структура металла поковок представляет собой крупнопластинчатый перлит с разорванной карбидной сеткой. Для ее растворения и повышения однородности твердого раствора аустенитизацию проводят при $950\text{—}960^\circ \text{C}$. В результате относительно ускоренного переохлаждения с $950\text{—}960$ до $400\text{—}350^\circ \text{C}$ (охлаждение в пе-

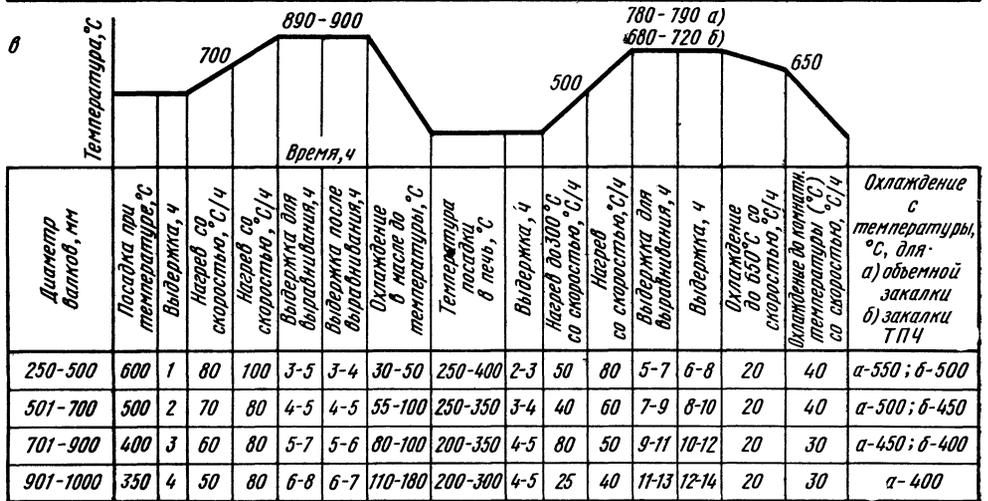
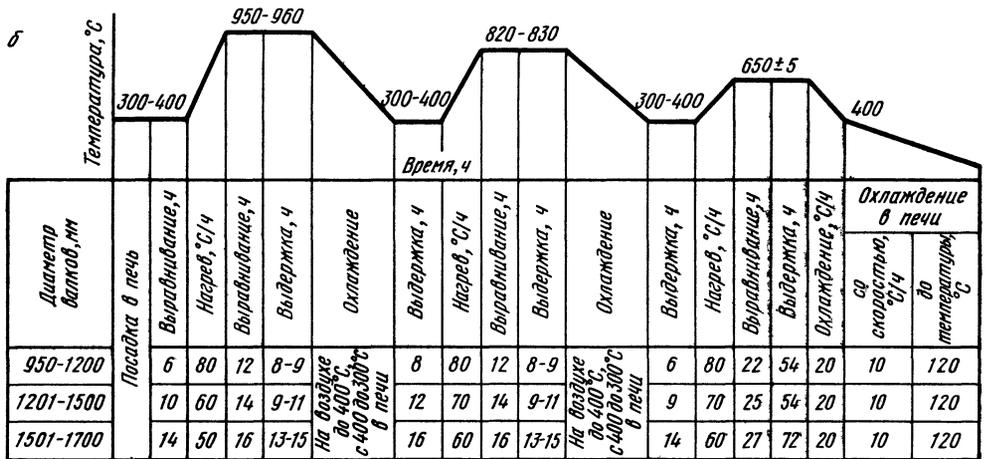
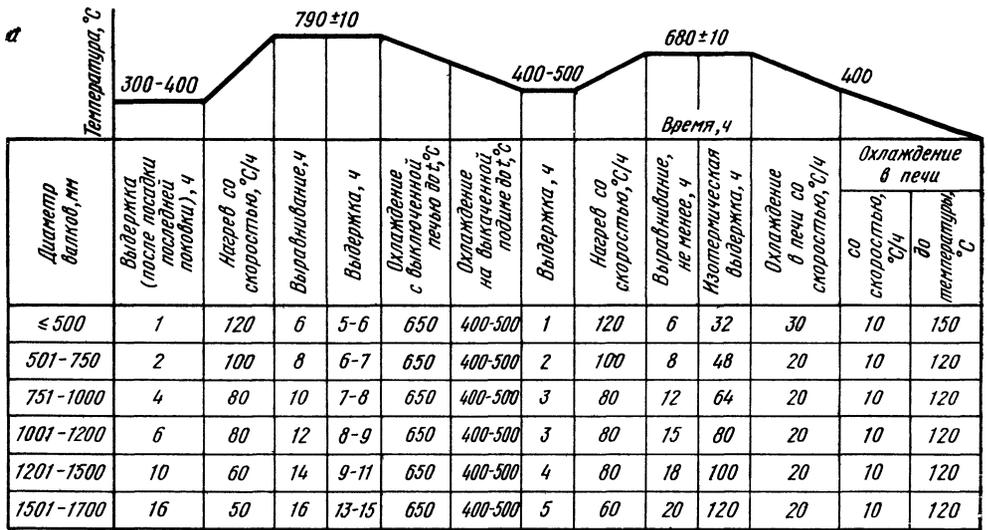


Рис. VII.15. Технология предварительной термической обработки рабочих валков, принятая на УЗТМ:

а — отжиг валков, подвергающихся впоследствии закалке со сквозным прогревом; б — отжиг валков, подвергающихся впоследствии поверхностной закалке; в — термическое улучшение валков

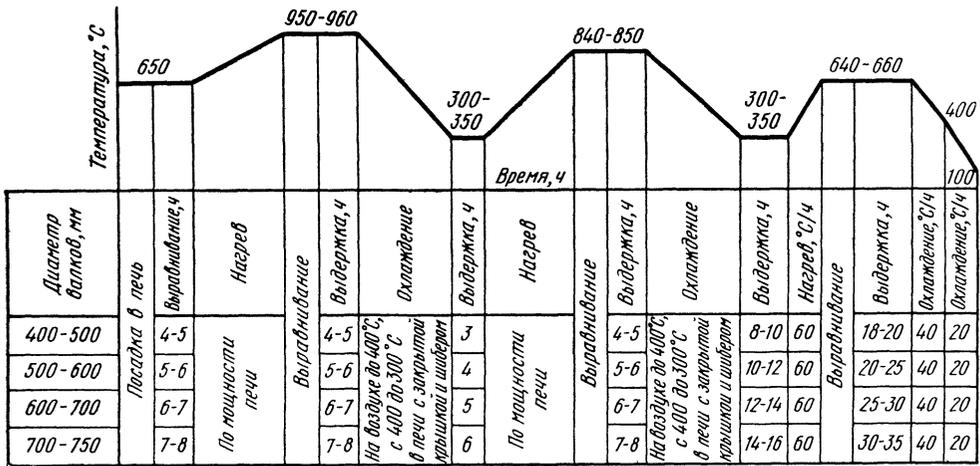


Рис. VII.16. Технология предварительной термической обработки рабочих валков, принятая на НКМЗ

чи с открытыми крышками и шиберами) осуществляется быстрый перевод металла через температурный интервал $Arm-Ar_1$, предотвращающий выпадение карбидной сетки. Выдержку при температуре переохлаждения принимают из расчета 2 ч на каждые 100 мм диаметра бочки вала, что вполне достаточно для достижения допустимого температурного перепада по сечению. Последующий нагрев до 700—710°С осуществляется с лимитированной скоростью. В процессе изотермической выдержки при 700—710°С в течение 20—80 ч происходит формирование структуры зернистого перлита и удаление водорода. Дополнительно удалить водород можно также при охлаждении поковок до 400°С со скоростью не более 20°С/ч. Еще медленнее их охлаждение при более низких температурах (до 10°С/ч). Применение столь малых скоростей охлаждения обусловлено также необходимостью снижения уровня остаточных напряжений в поковках.

Режим предварительной термической обработки поковок опорных валков на УЗТМ зависит от вида окончательной термической обработки. Если в качестве окончательной термической обработки для опорных валков из стали марок 9Х2 и 75ХМ применяют нормализацию с отпуском, то предварительная обработка состоит из накопления поковок при 300—400°С, аустенитизации при 780—800°С, переохлаждения до 400—500°С и отпуска при 670—690°С. Охлаждение с температуры отпуска осуществляется со скоростью не более 20°С/ч. При окончательной термической обработке, состоящей из закалки с нагрева токами промышленной частоты, предварительная термическая обработка, включает двойную нормализацию (температуры нагрева 950—960 и 820—830°С) и высокий отпуск (650°С). В этом режиме совмещены растворение карбидной сетки (950—960°С), перекристаллизация

для измельчения зерна (820—830°С) и обеспечение удовлетворительной обрабатываемости резанием (645—655°С) с одновременным обезводороживанием поковок и сохранением достаточной прочности сердцевинных слоев валков, не упрочняемых последующей закалкой с нагрева токами промышленной частоты.

Предварительная термическая обработка бандажей составных валков мало отличается от рассмотренной выше применительно к цельнокованым, однако при назначении ее параметров следует учитывать толщину стенки бандажей.

Окончательная термическая обработка рабочих валков состоит из закалки и отпуска. Иногда нагрев под закалку осуществляют в вертикальных печах. Однако метод закалки со сквозным прогревом валков в печах более трудоемок, чем, например, метод закалки с нагрева токами промышленной частоты, поэтому его используют лишь для окончательной термической обработки рабочих валков специальных назначений (валков для станов теплой прокатки и др.). Меньшая глубина закаленного слоя у валков, подвергнутых закалке со сквозным прогревом, обеспечивает меньшую чувствительность их к хрупким разрушениям при циклическом изменении температуры.

Как правило, на объемную закалку валки поступают с припуском 2—3 мм на диаметр бочки. В зависимости от соотношения диаметра и длины бочки припуск на шейке (на окалинообразование и коробление) достигает 4—10 мм на диаметр. До термической обработки нарезают шпоночные пазы, трефы, выполняют резьбу и др. Выполняют также технологическое осевое отверстие, обеспечивающее повышенные скорости охлаждения в результате подачи охлаждающей воды.

Твердость шеек не должна превышать HС30—55. Для получения такой твердости и предотвращения образования трещин и от-

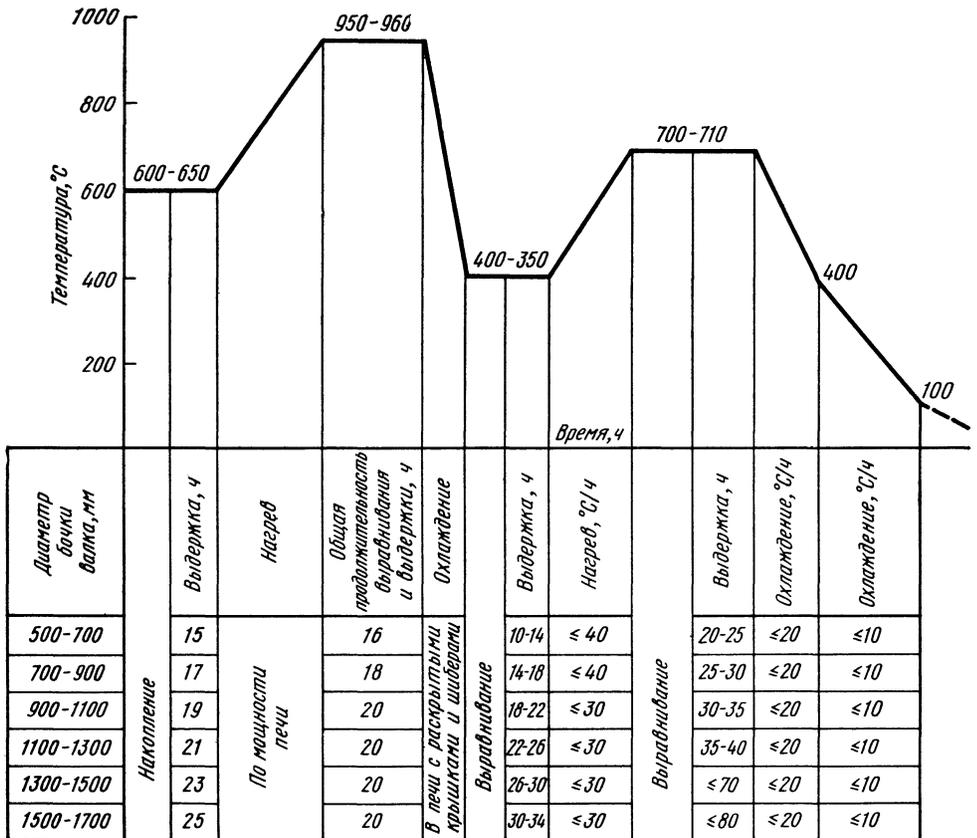


Рис. VII.17. Режим предварительной термической обработки крупных опорных валков из стали марок 9Х и 9ХФ, принятый на НКМЗ

колов на торцах бочки и шейках их перед нагревом под закалку изолируют специальными кожухами из мягкого листового железа. Зазоры между бочкой вала и кожухом закрывают кольцами из листового железа. В зазоры между кожухом и шейкой заливают жароупорный бетон. Иногда закалку валков проводят в специальных приспособлениях без кожухов (рис. VII.18).

Под закалку валки нагревают в строго вертикальном положении. Сначала их подогревают до 600—650°С, а затем переносят в печь с температурой, несколько превышающей оптимальную температуру закалки. После прогрева до температуры закалки слоя толщиной 50—100 мм температуру печи снижают до 800—850°С. Оптимальная температура закалки мелких валков, изготавливаемых обычно из стали марки 9Х, составляет 800—830°С, а средних и крупных, изготавливаемых из стали марок 9Х2, 9Х2МФ и 9Х2В, 840—850°С. Нагрев до более высокой температуры может увеличить хрупкость закаленного слоя и опасность возникновения значительных напряжений при охлаждении.

Для получения высокой твердости при закалке валки охлаждают водой в специальном устройстве, обеспечивающем интенсивную подачу воды по касательной к бочке вала и снизу вверх (см. рис. VII.11).

Внутренний диаметр струйчатого устройства подбирают в зависимости от диаметра бочки вала. К моменту окончания охлаждения поверхностные слои бочки вала должны иметь температуру охлаждающей воды, а внутренние — до 200°С. После снятия кожухов перед посадкой на отпуск температура по сечению валков выравнивается.

Для увеличения глубины активного слоя и повышения поверхностной твердости при закалке со сквозным прогревом крупных валков следует увеличить скорость охлаждения. С этой целью в бочке крупных валков дополнительно растачивают камеру. Глубину активного слоя можно увеличить и за счет применения для изготовления крупных валков сталей с большей устойчивостью переохлажденного аустенита.

Одним из видов окончательной термической обработки опорных валков является нормализация с отпуском. Этой термической обработке подвергают опорные валки, изготовленные из стали марок 80ХНЗВ и 65ХНМ. Валки после механической обработки с отпуском 10—12 мм на диаметр без сверления осевого канала загружают в печь с выдвижным подом. Режим нормализации с отпуском приведен на рис. VII.19. Твердость бочки и шеек после такой термической обработки должна составлять: для валков из стали марки 65ХНМ HS42—48,

для валков из стали марки 80ХНЗВ HS50—58.

Объемной закалке в масле и последующему отпуску подвергают валки из стали марок 9Х2 и 75ХМ. При требуемой твердости поверхности бочки по нижнему пределу (HS42—45) допускается закалка без предварительной тепловой изоляции шеек. При

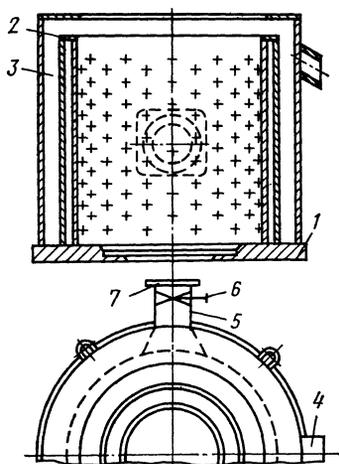


Рис. VII.18. Приспособление для закалки валков без кожухов:

1 — основание с отверстием для установки валка; 2 — коллектор; 3 — карман для слива воды; 4 — отводящая трубка; 5 — труба для подвода воды; 6 — вентиль, регулирующий подачу воды; 7 — соединительный фланец

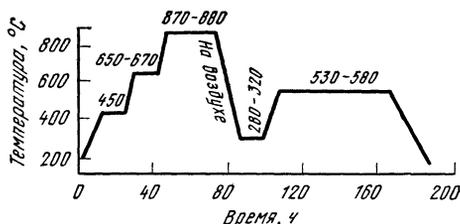


Рис. VII.19. Режим окончательной термической обработки опорных валков из стали марок 80ХНЗВ и 65ХМ (нормализация с последующим отпуском)

более высокой твердости шейки изолируют кожухами и листовым асбестом. Режим закалки и отпуска опорных валков представлен на рис. VII.20. При выдаче из закалочного бака температура поверхности бочки должна находиться в пределах 150—250° С. Отпуск крупных валков (диаметром 1000—1300 мм и массой свыше 15 т) после закалки со сквозным прогревом проводят при 480—520° С. При более низкой температуре отпуска закалочные напряжения уменьшаются недостаточно. Твердость крупных валков после закалки в масле и отпуска при 480—520° С находится в пределах HS52—58. Валки меньших размеров (массой 10—15 т) подвергают термической обработке по такой же технологии, что и крупные валки, однако температуру отпуска принимают равной 360—420° С; твердость поверхности бочки при этом превышает HS55. При необ-

ходимости получения больших значений твердости (HS65—75) у цельнокованых валков небольших размеров (диаметр бочки менее 800 мм) изолируют шейки; затем производят закалку в воде.

При изготовлении составных опорных валков оси и бандажи подвергают термической обработке отдельно. Оси из стали марок 55Х и 45ХНМ после предварительной механической обработки закаливают в масле. Температура нагрева под закалку осей из стали 55Х составляет 830—850° С, из стали

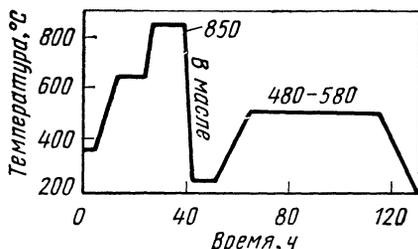


Рис. VII.20. Режим окончательной термической обработки опорных валков из стали марок 9Х2 (закалка с последующим отпуском)

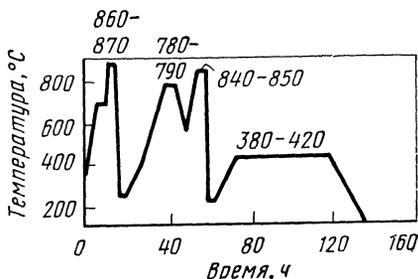


Рис. VII.21. Режим окончательной термической обработки бандажей составных опорных валков

марки 45ХНМ 850—870° С; отпуск проводят при 590—620° С. Твердость осей после закалки и отпуска HB217—269. Во избежание разрушения при закалке оси диаметром 700 мм и более выполняют со сквозными каналами для циркуляции воды.

Бандажи составных опорных валков, изготовленные из стали марок 9Х, 9Х2 и 9ХФ, после механической обработки с припуском 1,5—2,5 мм на сторону подвергают окончательной термической обработке по режиму, представленному на рис. VII.21. Охлаждение при закалке с температуры 840—850° С производят через воду в масле. Для обеспечения твердости HS70—85 бандажи после закалки отпускают при 320—350° С, а твердости HS60—70 — при 350—420° С.

После шлифовки внутреннего отверстия бандажа и бочки оси с учетом обеспечения необходимого натяга проводят их горячую посадку. Бандажи медленно нагревают в печи до температуры 200—250° С, выдерживают для прогрева, а затем проводят посадку оси. Охлаждение после посадки осуществляют медленно. Температурный режим посадки бандажа на ось представлен на рис. VII.22.

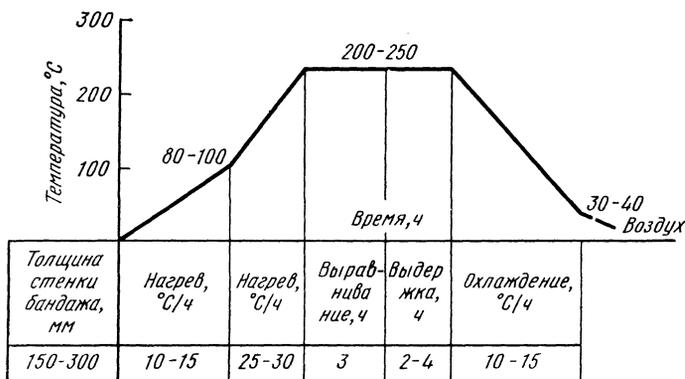


Рис. VII 22 Температурный режим посадки банджажа (сталь марок 9Х и 9Х2) на ось при изготовлении составных опорных валков

Крановые колеса

Колеса хода моста и тележки эксплуатируются в сложных напряженных условиях, испытывая интенсивные изнашивающие нагрузки, высокие удельные усилия и удары. Поэтому термическая обработка должна обеспечить сочетание свойств поверхности, сердцевины и ступицы колеса, способных противодействовать этим нагрузкам. Опыт показывает, что требуемое сочетание лучше всего обеспечивается надлежащим методом изготовления заготовки колеса и ее термической обработки.

Обычным литьем стальных колес в песочные формы, связанным с частым образованием скрытых дефектов (раковин, пригаров и т. п., вскрывающихся при эксплуатации), невозможно получить достаточно долговечное колесо. Более рациональны кокильная и центробежная отливки. Еще лучше колеса, изготовленные методом свободнойковки, но это связано с трехкратным нагревом металла и возможностью его перегрева, а также со значительными потерями его в окалину и с большими припусками на механическую обработку.

Более совершенным способом изготовления крановых колес следует признать штамповку, выполняемую с одного нагрева и минимальными потерями на угар и припусками на механическую обработку. Кроме того, применение штамповки дает возможность организовать массовое производство колес с меньшей себестоимостью, чем при литье или свободнойковке. В США изготовление колесных заготовок штамповкой на прессах или с дополнительной прокаткой беговой дорожки на колесопротатном стане получило широкое распространение. Рациональность этого метода подтверждается не только практикой эксплуатации импортных кранов, но и длительной службой на ММК партии ходовых колес, изготовленных из цельнокатаных заготовок (сталь 65Г).

Опыт показывает, что термическая обработка, обеспечивающая получение в поверхностном слое структуры сорбита, является рациональным методом повышения долговечности крановых колес. Впервые метод

сорбитизации был применен на КМК. По данным комбината, стойкость сорбитизированных колес, изготовленных из стали 50Г2Л, в 2—3 раза превосходит срок службы колес, не подвергнутых этой обработке.

Для сорбитизации крановых колес используют установки, схемы которых приведены выше (см. рис. VII.9 и VII.10). При этом технология рациональной упрочняющей обработки крановых колес представляется в следующем виде. Колеса после литья иликовки отжигают по режиму, зависящему от марки стали. Затем их подвергают механической обработке с предварительной расточкой по осевому отверстию. Припуск по осевому отверстию дается с учетом деформации, возникающей при термической обработке. Обычно припуск при диаметре осевого отверстия 70—100 мм составляет 5 мм; при диаметре осевого отверстия 100—160 мм припуск равен 8 мм. Затем проводят закалку с самоотпуском. Режим этой обработки крановых колес выбирают в соответствии с табл. VII.43. Колеса, извлеченные из воды, устанавливают на полу цеха, где и проходит самоотпуск. Окончательная механическая обработка в большинстве случаев состоит в расточке осевого отверстия.

Сравнительные данные о применяемой в настоящее время технологии изготовления крановых колес, а также рекомендуемой ВНИИПТмашем представлены в табл. VII.44.

Изделия из стали 110Г13Л

Из стали 110Г13Л изготавливают облицовочные плиты агломерационной ленты, секторы облицовки тарелей тарельчатых питателей, броню дробилок и другие детали. Эта сталь имеет низкую теплопроводность и высокий коэффициент линейного расширения. Поэтому нагрев изделий из стали 110Г13Л под закалку во избежание появления остаточных напряжений следует проводить медленно. Практически нагрев изделий при низких и высоких температурах осуществляют с разной скоростью. Скорость нагрева до температуры 750°С составляет

Таблица VII.43

Оптимальные режимы термической обработки крановых колес*1

Марка стали	Температура нагрева под закалку, °С	Продолжительность вращения в сорбитизационной установке*2, с	Продолжительность выдержки в закалочном баке, с*3	Твердость, НВ, после термической обработки			
				поверхности	сердцевины	реборды	ступицы
50Г2	840	270—300	90	321	286	340	311
40Х	860	270—300	60	321	286	351	311
38ХГН	860	210—240	90	332	286	351	311

*1 Охлаждающая среда — вода.

*2 Для колес диаметром 850 мм.

*3 Для колес диаметром 600 мм.

Таблица VII.44

Характеристика технологического процесса изготовления крановых колес

Показатели	Фактически применяемый процесс		Процесс, рекомендуемый ВНИИПТмашем
	в СССР	в США	
Материал заготовки	Сталь 50Г2	Сталь типа 75 (0,67—0,87% С)	Стали 75 и 65Г
Вид заготовки	Отливка	Штамповка с прокатанной беговой дорожкой	Штамповка с двумя ребордами, полученными пластической деформацией при высоких температурах
Способ термической обработки	Отжиг отливки после механической обработки (температура нагрева 780—800 °С, охлаждение с печью); сорбитизация (нагрев до 780—800 °С, выдержка 2—3 ч, охлаждение в сорбитизационной установке — продолжительность охлаждения в соответствии с табл. VII.43, самоотпуск)	После механической обработки колесо нагревают до 760—780 °С и охлаждают в воде или масле; при охлаждении в воде его помещают на вращающиеся ролики сорбитизационной машины (в воду погружают лишь обод колеса); затем следует отпуск	Нагрев до закалочной температуры токками промышленной частоты или в печи; сорбитизация (продолжительность охлаждения в соответствии с табл. VII 43, самоотпуск); затем отпуск
Глубина закаленного слоя, мм	26—30	На всю толщину обода	25—40
Твердость, НВ, рабочих поверхностей	286—364	290—340	300—350
Микроструктура закаленного слоя	Сорбит	Сорбит	Сорбит

60—70° С/ч, в интервале температур 750—1100° С — не выше 120—140° С/ч. В случае термической обработки отливок со стенками толщиной более 50 мм при температуре 750° С перед дальнейшим нагревом производят выдержку длительностью 1—1,5 ч для выравнивания температуры по сечению изделий. Выдержка при температуре закалки 1100° С даже для крупных отливок не должна превосходить 1 ч из-за склонности высокомарганцевистой стали к обезуглероживанию.

Охлаждение отливок, особенно массивных, осуществляют в проточной воде, температура которой не должна превышать 30—40° С. При меньшей скорости охлаждения отмечается выделение карбидов, ухудшающих механические свойства этой стали. Во избежание образования паровой рубашки, снижающей однородность закалки, подъемное приспособление с отливкой необходимо непрерывно перемещать в воде вплоть до окончания охлаждения. Часто к закалочному баку подводят сжатый воздух, вызываю-

щий аэрацию воды. Отпуск закаленных деталей не производят. После описанной термической обработки изделия из стали 110Г13Л приобретают аустенитную структуру и высокое сопротивление изнашиванию при ударах и давлении.

Библиографический список

Бернштейн М. Л. Термомеханическая обработка металлов и сплавов. Т. 1 и 2. М., «Металлургия», 1966. 1171 с. с ил.

Бобро Ю. Г., Пивоваров В. М. Изотермическая закалка чугуна. Харьков, «Прапор», 1968. 109 с. с ил.

Большаков В. И., Стародубов К. Ф., Тылкин М. А. Термическая обработка строительной стали повышенной прочности. М., «Металлургия», 1977. 200 с. с ил.

Вайнштейн В. Д., Канторович В. Н. Низкотемпературные холодильные установки. М., «Пищевая промышленность», 1972. 350 с. с ил.

Геден М. В., Соболев Г. П., Паисов И. В. Термическая обработка валков холодной прокатки. М., «Металлургия», 1973. 344 с. с ил.

Гудремон Э. Специальные стали. Т. 1 и 2. М., «Металлургия», 1966. 952 и 676 с. с ил.

Гуляев А. П. Металловедение. М., «Металлургия», 1977. 647 с. с ил.

Каменичный И. С. Спутник термиста. Киев, «Техника», 1969. 230 с. с ил.

Колачев Б. А., Ливанов В. А., Елагин В. Н. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М., «Металлургия», 1972. 480 с. с ил.

Лахтин Ю. М. Металловедение и термическая обработка. М., «Металлургия», 1977. 408 с. с ил.

Марочник стали и сплавов. М., НИИмаш, 1971. 482 с. с ил.

Материалы в машиностроении. Справочник. Т. 2. Под ред. Е. П. Могилевского. М., «Машиностроение», 1967. 496 с. с ил.

Металловедение и термическая обработка. Т. 1 и 2. Справочник. Под ред. Н. Т. Гудцова. М., Metallurgizdat, 1962. 1625 с. с ил.

Надежность и долговечность валков холодной прокатки. М., «Металлургия», 1976. 477 с. с ил. Авт.: В. П. Полухин, В. А. Николаев, М. А. Тылкин и др.

Никберг Н. М., Тищенко А. Н. Оптимальная долговечность оборудования металлургических предприятий. М., «Металлургия», 1974. 200 с. с ил.

Новиков И. И. Теория термической обработки металлов. М., «Металлургия», 1974. 400 с. с ил.

Родзевич П. И., Никберг И. М., Барац А. И. Упрочнение деталей металлургического оборудования. М., Metallurgizdat, 1963. 343 с. с ил.

Рустем С. Л. Оборудование и проектирование термических цехов. М., Mashgiz, 1962. 588 с. с ил.

Тепловые процессы при обработке металлов и сплавов давлением. М., «Высшая школа», 1973. 631 с. с ил. Авт.: Н. И. Яловой, М. А. Тылкин, П. И. Полухин, Д. И. Васильев.

Справочник машиностроителя. Т. 6. Под ред. С. А. Сатела. М., «Машиностроение», 1964. 540 с. с ил.

Справочник металлста. Т. 2. Под ред. А. Г. Рахштадта и В. А. Брострема. М., «Машиностроение», 1976. 718 с. с ил.

Термическая обработка крупных поковок. М., «Металлургия», 1973. 176 с. с ил. Авт.: Ю. А. Башнин, И. В. Паисов, В. Н. Цурков и др.

Тылкин М. А. Повышение долговечности деталей металлургического оборудования. М., «Машиностроение», 1971. 608 с. с ил.

Филинов С. А., Фигнер И. В. Справочник термиста. Л., «Машиностроение», 1975. 352 с. с ил.

Шубин Р. П., Приходько В. П. Технология и оборудование термического цеха. М., «Машиностроение», 1974. 280 с. с ил.

Глава VIII

ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ИНСТРУМЕНТА

1. Фазовые превращения при химико-термической обработке

Химико-термическая обработка деталей состоит из нагрева их до определенной температуры, выдержки при этой температуре в активных газовых, твердых или жидких средах и последующего охлаждения. При химико-термической обработке происходит

изменение химического состава, структуры и свойств поверхности изделий. После некоторых видов химико-термической обработки для достижения более резкого изменения свойств поверхностных слоев изделий дополнительно проводят термическую обработку.

Химико-термическую обработку производят главным образом с целью поверхностного упрочнения деталей машин и инструмента (повышаются поверхностная твердость,