

СПРАВОЧНИК

МОЛОДОГО

термиста

**ПРОФЕССИОНАЛЬНО-
ТЕХНИЧЕСКОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ**



ББК 34.57
С28
УДК 621.7.04

Рекомендовано к изданию Государственным комитетом СССР по профессионально-техническому образованию в качестве справочного пособия для средних ПТУ

Рецензенты: канд. техн. наук Г. А. Иоффе (Оргстанкинпром НПО Минстанкопрома), канд. техн. наук В. М. Зуев (МАМИ)

- Седов Ю. Е., Адашкин А. М.
С28 Справочник молодого термиста. — М.: Высш. шк., 1986. — 239 с., ил. — (Профтехобразование), 60 к.

Приведены справочные данные о режимах термической обработки, свойствах сталей, чугунов, цветных металлов, а также сведения об оборудовании термических цехов. Даны свойства нагревающих и охлаждающих сред. Изложены практические рекомендации по проведению термической обработки в печах и ваннах.

Для средних профессионально-технических училищ.

С $\frac{2704070000-155}{052(01)-86}$ 73—86

ББК 34.57
6 П4.5

ПРЕДИСЛОВИЕ

Непрерывное улучшение качества, повышение производительности, надежности и долговечности машин в значительной степени определяется прогрессом технологии, важнейшим этапом которой является термическая обработка, формирующая окончательные, эксплуатационные свойства металлов.

Совершенствование процессов термической обработки наряду с правильным выбором материалов для конкретных условий эксплуатации приводит к уменьшению металлоемкости изделий, снижению трудоемкости их изготовления, экономии материальных и энергетических ресурсов, повышению производительности труда.

Настоящий справочник ставит своей целью обеспечить учащихся профессионально-технических училищ и молодых рабочих необходимыми практическими данными по машиностроительным материалам и технологии их термической обработки. Он содержит сведения о термической обработке сталей, чугунов, цветных металлов, а также характеристики оборудования и приспособлений, используемых в современных термических цехах. Теоретические объяснения явлений, наблюдающихся в процессе термической обработки, равно как и их описание, в справочник не включались. Приведенный материал дополняет имеющуюся учебную литературу для подготовки термистов в системе профтехобразования сведениями справочного характера.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТАЛЛАХ И СПЛАВАХ

1.1. Строение металлов и сплавов

Металлы и сплавы в твердом состоянии имеют кристаллическое строение, которое характеризуется упорядоченным расположением атомов в пространстве. Атомы образуют кристаллическую решетку. На рис. 1.1 приведены элементарные кристаллические ячейки, дающие представление об атомной структуре металла во всем его объеме.

Каждый металл обладает определенной кристаллической решеткой. Некоторые металлы (железо, кобальт, титан, олово и др.) при изменении температуры испытывают полиморфное превращение, заключающееся в перестройке одного типа кристаллической решетки в другой. Полиморфные модификации одного и того же металла обозначают греческими буквами α , β , γ , δ (например Fe_α , Fe_γ и т. д.).

Технические металлы и сплавы являются поликристаллическими телами, состоящими из большого числа разориентированных мелких кристаллов, которые имеют неправильную форму и называются зернами или кристаллитами. В зернах всегда имеются несовершенства (дефекты) кристаллического строения. Дефекты делят на точечные — вакансии или атомные пропуски, смещения атомов в межузлия, атомы примесей; линейные — краевые (рис. 1.2) и винтовые дислокации; поверхностные — границы зерен и субзерен. Дислокации могут перемещаться под действием внешней нагрузки, что приводит к пластической деформации. Сопротивление пластической деформации металла снижается при увеличении плотности дислокаций до определенного предела, а при дальнейшем ее росте возрастает. Сопротивление пластической деформации повышается также при измельчении зерна, границы которого служат препятствием перемещению дислокаций. Повышение плотности дислокаций и измельчение зерен при термической обработке позволяют повысить прочностные свойства металлов и сплавов.

Вещества, которые образуют сплав, называют компонентами. Компоненты вступают во взаимодействие и могут образовывать различные типы соединений: механические смеси, твердые растворы, химические соединения (табл. 1.1).

Фаза и структура. Фаза — однородная часть системы (сплава), которая имеет границу (поверхность) раздела, отделяющую ее от остальных частей системы, и определенные химический состав, строение и свойства. Фазами в сплавах могут быть жидкие и твердые растворы, чистые компоненты, химические соединения.

Структура — строение металла или сплава, наблюдаемое невооруженным глазом и при небольшом (до 30 раз) увеличении

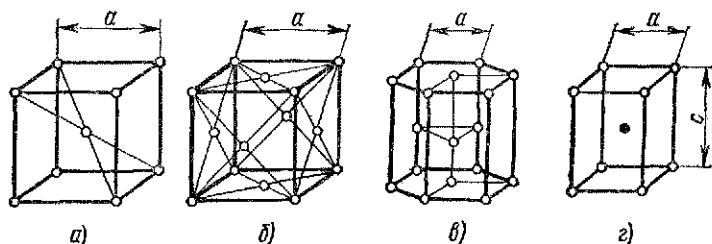


Рис. 1.1. Кристаллические решетки металлов:

a — объемно центрированная кубическая (ОЦК), $б$ — гранецентрированная кубическая (ГЦК), $в$ — гексагональная плотной упаковки, $г$ — тетрагональная (c/a — степень тетрагональности); a и c — параметры (периоды) кристаллической решетки

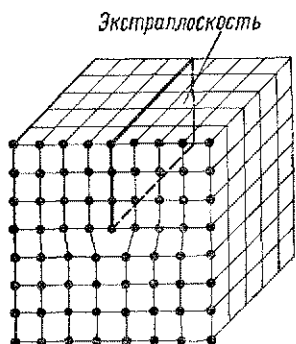


Рис. 1.2. Схема краевой дислокации в кристалле

(макроструктура) или при больших увеличениях с помощью оптического или электронного микроскопов (микроструктура). Структура может быть однофазной или многофазной. Различают также структурные составляющие, под которыми понимают обособленные части сплава, имеющие одинаковое строение с присущими им характерными особенностями. К ним относятся эвтектики и эвтектоиды. Эвтектика — механическая смесь двух (или более) кристаллов, одновременно кристаллизующихся из жидкости при постоянной температуре; имеет постоянный химический состав. Эвтектоид — механическая смесь двух (или более) фаз, образующаяся при полном распаде твердого раствора. Ему присущи те же особенности, что и эвтектике, но его строение более дисперсное.

1.1. Типы соединений при взаимодействии компонентов в металлических сплавах

Тип	Условия образования	Кристаллическая решетка	Свойства
Твердые растворы ¹ : замещения	Образуются металлами с одинаковым типом кристаллической решетки и отличием атомных диаметров не более 8—15 %	Сохраняется кристаллическая решетка одного компонента (растворителя), в которой располагаются атомы другого компонента; расположение атомов статистически не упорядочено ² . Период кристаллической решетки изменяется	Пластичные (в равновесном состоянии)
	с неограниченной растворимостью		
с ограниченной растворимостью	Образуются металлами с близким или одинаковым типом кристаллической решетки и большим отличием атомных диаметров		
внедрения	Образуются металлами с неметаллами, имеющими большое отличие атомных диаметров		
Механическая смесь	Образуются компонентами, не способными к взаимному растворению и не образующими химического соединения	Сохраняется у каждого компонента	Промежуточные между свойствами компонентов; зависят от их соотношения
Химическое соединение ³	Образуются компонентами с большим различием в электронном строении атомов	Новая, отличающаяся от кристаллических решеток компонентов, с упорядоченным расположением атомов	Резко отличаются от свойств компонентов; хрупкие, твердые

¹ Могут образовываться на базе чистых компонентов и на базе химического соединения. ² Известны также упорядоченные твердые растворы (сверхструктуры), являющиеся промежуточными фазами между твердыми растворами и химическими соединениями. ³ Могут иметь постоянный состав, подчиняясь законам валентности, или переменный состав; к последним относят фазы внедрения (соединения переходных металлов с неметаллами) — карбиды, бориды, нитриды, обладающие высокой твердостью; интерметаллиды (соединения металлов с металлами) — электронные соединения, фазы Лаваса.

1.2. Сплавы железа с углеродом. Диаграмма состояния железо — цементит

Наиболее широко в промышленности применяют стали и чугуны, представляющие собой сплавы железа с углеродом. Железо в твердом состоянии имеет две модификации: Fe_α и Fe_γ . Железо - α (Fe_α)

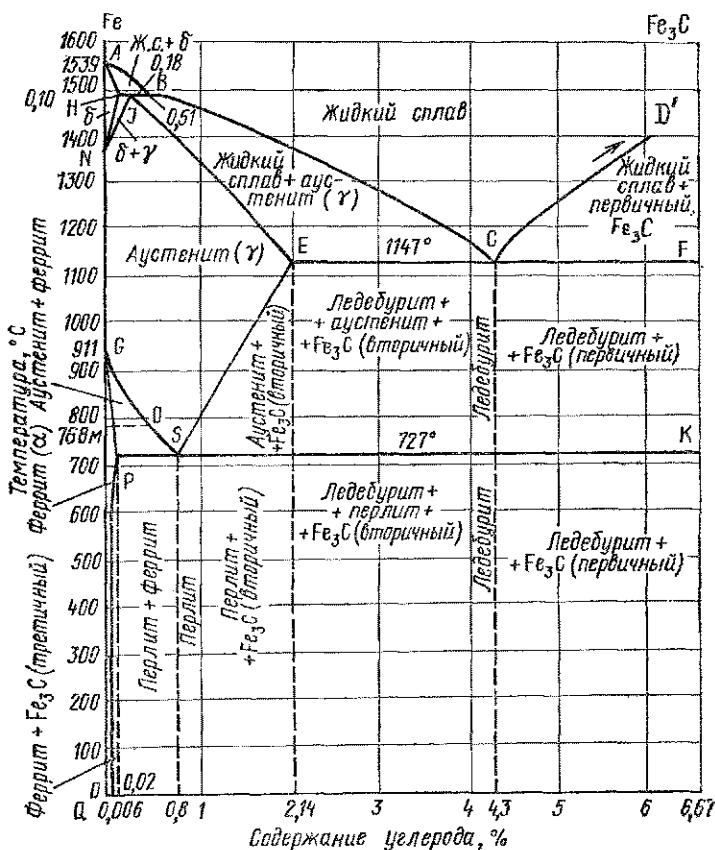


Рис. 1.3. Диаграмма состояния железо—цементит

существует при температуре ниже 911°C и выше 1392°C и имеет объемно центрированную (ОЦК) кубическую решетку (железо- α , существующее при температурах выше 1392°C , часто обозначается как Fe_δ). До температуры 768°C (точка Кюри) железо магнитно (ферромагнитно).

Железо-γ (Feγ) существует в интервале температур 911—1392 °С и имеет гранцентрированную кубическую (ГЦК) решетку. Температуры 911 °С и 1392 °С являются температурами полиморфного превращения железа. Температура плавления железа — 1539 °С.

На рис. 1.3 приведена диаграмма состояния железо—цементит (до 6,67 % С). Железо и углерод вступают во взаимодействие, образуя различные фазы и структурные составляющие (табл. 1.2).

Сплавы, содержащие углерод до 2,14 %, называют сталями, а более 2,14 % — чугунами. Стали не содержат хрупкого ледебурита и имеют при высоких температурах аустенитную структуру, обладающую высокой пластичностью. Они являются деформируемыми (ковкими) сплавами (при нормальных и повышенных температурах). Стали с концентрацией углерода до 0,8 % называют доэвтектоидными (структура: Ф+П); 0,8 % — эвтектоидными (П); более 0,8 % — заэвтектоидными (П+Ц_{II}).

Чугуны содержат в структуре хрупкий ледебурит, имеют более низкие температуры плавления, меньшую усадку и обладают в связи с этим лучшими литейными свойствами. Они являются литейными сплавами. В чугунах с ледебуритом весь углерод находится в связанном состоянии — в цементите; такие чугуны называют белыми (излом матово-белый). Белые чугуны с концентрацией углерода до 4,3 % называют доэвтектическими (П+Л+Ц_{II}); 4,3 % — эвтектическими (Л); более 4,3 % — заэвтектическими (Л+Ц_I).

Цементит — неустойчивое химическое соединение; при повышенных температурах и длительных выдержках распадается с выделением свободного углерода в виде графита, имеющего низкие твердость и прочность. Чем медленнее охлаждение и больше в чугуне кремния, тем полнее протекает графитизация.

Критические точки сталей (табл. 1.3) — это температуры, при которых происходят фазовые превращения; обозначают *Ac* — при нагреве, *Ar* — при охлаждении; используют для выбора температур нагрева при проведении термической обработки.

В сталях и чугунах всегда присутствуют постоянные (полезные, вредные) и случайные примеси. Полезные примеси — марганец и кремний; их специально вводят в жидкий металл для раскисления. В углеродистой стали содержание кремния обычно не превышает 0,35—0,4 %, а марганца 0,5—0,8 %. Марганец, кроме того, предупреждает в стали вредное влияние серы. В чугунах марганец и кремний присутствуют в больших количествах; кремний одновременно является графитизатором, способствуя выделению графита; марганец, наоборот, — карбидообразующий элемент, повышающий устойчивость цементита.

Вредные примеси — сера, фосфор и газы (кислород, азот, водород). Они попадают в металл при выплавке из руд, шихты, печ-

1.2. Фазы и структурные составляющие в системе железо—цементит

Фазы и структурные составляющие	Определение	Содержание углерода	Свойства
Феррит	Твердый раствор внедрения углерода в железе- α^1	0,006 % при 20 °С; 0,02 % при 727 °С	$\sigma_b \approx 250$ МПа; $\delta = 50$ %; HB 80—90; магнитен при температурах до 768 °С
Аустенит	Твердый раствор внедрения углерода в железе- γ^1	До 2,14 % при 1147 °С	$\sigma_b = 500$ МПа; HB 170—200; немагнитен
Цементит ²	Химическое соединение железа с углеродом Fe_3C (карбид железа)	6,67 %	~HV 1000; хрупкий
Ледебурит (эвтектика)	Механическая смесь аустенита и цементита (А+Ц). Образуется при 1147 °С. При 727 °С — механическая смесь перлита и цементита (П+Ц) в результате эвтектоидного превращения аустенита в перлит	4,3 %	~HV 800; хрупкий
Перлит (эвтектоид)	Механическая смесь феррита и цементита (Ф+Ц). Образуется при полном распаде аустенита при 727 °С. Может иметь: пластинчатое строение зернистое строение	0,8 %	HB 160—180 HB 180—200

¹ В более широком смысле — твердые растворы на основе соответственно Fe_α и Fe_γ . ² Выделяется из жидкого или твердых растворов вследствие уменьшения в них растворимости углерода (по DC, ES и PQ соответственно); цементит, выделяющийся из жидкого расплава, называют первичным (кристаллы наиболее крупные); из аустенита — вторичным; из феррита — третичным (самые дисперсные кристаллы).

1.3. Критические точки сталей

Стали	При медленном нагреве		При медленном охлаждении		Соответствующие линии на диаграмме (температура)	Зависимость ² от концентрации углерода в стали
	критические точки ¹	превращение	критические точки	превращение		
Доэвтектоидные, эвтектоидные, заэвтектоидные	A_{c1}	Перлита в аустенит	A_{r1}	Эвтектоидное превращение аустенита в перлит	PSK	Не зависит
Доэвтектоидные	A_{c2}	Потеря ферритом магнитных свойств	A_{r2}	Приобретение ферритом магнитных свойств ³	M_0 (768° C)	Не зависит (до 0,5—0,6 % C)
Доэвтектоидные	A_{c3}	Окончание превращения феррита в аустенит	A_{r3}	Начало превращения аустенита в феррит	GS	Понижается с увеличением концентрации углерода
Заэвтектоидные	A_{cm}	Окончание растворения цементита вторичного в аустените	A_{rm}	Начало выделения цементита вторичного из аустенита	SE	Повышается с увеличением концентрации углерода

¹ Часто критические точки обозначают A_1 , A_2 , A_3 , A_{cm} , не отмечая индексами нагрев или охлаждение. ² Примеси и легирующие компоненты изменяют критические точки. ³ Температура магнитного превращения не имеет гистерезиса.

ных газов или воздуха. Сера вызывает красноломкость сталей, проявляющуюся при горячей обработке давлением. Марганец, связывая серу в сульфиды MnS , устраняет красноломкость. Вместе с тем сульфиды нарушают однородность строения стали, снижают пластичность, ударную вязкость и усталостную прочность, ухудшают свариваемость и коррозионную стойкость. Положительное влияние серы проявляется лишь в улучшении обрабатываемости резанием. Фосфор упрочняет сталь, растворяясь в феррите, но снижает пластичность и вязкость, особенно при низких температурах, т. е. вызывает хладноломкость. При этом он сдвигает порог хладноломкости к более высоким температурам. Содержание серы и фосфора строго регламентируется — не более 0,025—0,07 % в различных сталях. Чем меньше их концентрация, тем выше качество стали. Для сталей различного качества устанавливается свой допуск на содержание серы и фосфора. Кислород, азот и водород сильно снижают пластичность и вязкость, повышают склонность стали к хрупкому разрушению. Кислород и азот загрязняют сталь неметаллическими включениями (окислами, нитридами); их скопления являются концентраторами напряжений и существенно снижают предел выносливости. Водород охрупчивает сталь, находясь в твердом растворе.

В чугунах влияние вредных примесей не так заметно. Поэтому количество их несколько больше. Сера, при значительных ее концентрациях, повышает хрупкость, тормозит графитизацию и ухудшает литейные свойства. Фосфор не влияет на процесс графитизации и улучшает жидкотекучесть. Содержание серы допускается до 0,1—0,2 %, фосфора — до 0,15—0,3 %, но иногда — до 0,5—1,0 % (для повышения износостойкости или для художественного литья).

Случайные примеси попадают при выплавке из вторичного сырья или руд отдельных месторождений. В чугун и сталь попадают хром, никель, олово, медь, мышьяк и др. Их количество невелико и они мало влияют на процессы превращения и свойства.

1.3. Основы термической обработки сплавов железа с углеродом

Термическая обработка — процесс тепловой обработки изделий из металлов и сплавов с целью изменения их структуры и свойств, заключающийся в нагреве до определенной температуры, выдержке и последующем охлаждении с заданной скоростью. Тепловое воздействие может сочетаться с химическим (химико-термическая обработка, см. п. 1.7) и деформационным (термомеханическая обработка, см. п. 1.8). Термической обработке подвергают заготовки (прокат, поковки, отливки и т. п.) для улучшения технологических свойств (обрабатываемости давлением, резанием и др.) и готовые

изделия (детали, инструменты) с целью обеспечения требуемых эксплуатационных свойств.

Превращения в стали при нагреве. При температуре A_{c1} перлит превращается в аустенит. Нагрев доэвтектоидной стали в интервале A_{c1} — A_{c3} вызывает превращение феррита в аустенит; в заэвтектоидной стали в интервале температур A_{c1} — A_{cm} происходит растворение вторичного цементита в аустените. Одновременно нагрев доэвтектоидной стали выше A_{c3} , а эвтектоидной и заэвтектоидной выше A_{c1} ведет к росту зерна аустенита. При этом снижаются прочность и ударная вязкость (особенно сильно), повышаются порог хладнолом-

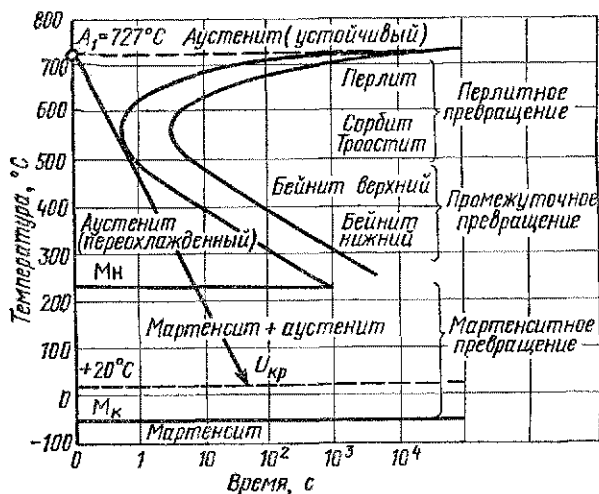


Рис. 1.4. Диаграмма изотермического превращения аустенита стали У8

кости, склонность к закалочным трещинам и деформациям. Чтобы предупредить рост зерна аустенита, температуры нагрева при термической обработке ограничивают, величину зерна контролируют.

Превращения стали при охлаждении. При охлаждении стали со структурой аустенита до температур ниже A_{c1} аустенит становится неустойчивым и претерпевает превращение. Получаемые при этом структура и свойства зависят от скорости охлаждения. Ее влияние отражают диаграммы изотермического превращения аустенита (строятся для конкретных сталей с определенным содержанием углерода, рис. 1.4). Эти диаграммы имеют важное значение для практики термической обработки стали, так как структура и свойства продуктов распада аустенита, полученные в результате изотермической выдержки после переохлаждения до заданной темпе-

1.4. Структуры, образующиеся в результате превращения пересохлажденного аустенита

Структура	Температура, °C	Строение	Определение	Свойства
Перлитное превращение ¹				
Перлит	A ₁ —700	Пластинчатое	Механическая смесь феррита и цементита	НВ 180—250
Сорбит	~650—600		Дисперсная механическая смесь феррита и цементита	НВ 250—350
Троостит	~580—550		Дисперсная механическая смесь феррита и цементита, отличающаяся от сорбита более тонким строением	НВ 350—450
Промежуточное превращение				
Бейнит: верхний	~550—350	Перистое	Механическая смесь пересыщенного углеродом α-твердого раствора и цементита (карбидов)	НВ 400—500 (у нижнего бейнита выше твердость, прочность, пластичность, вязкость)
нижний	~350—Mn	Игольчатое		
Мартенситное превращение ²				
Мартенсит	Mn—Mк ³	Игольчатое	Пересыщенный неравновесный твердый раствор внедрения углерода в α-железе (имеет тетрагональную кристаллическую решетку, см. рис. 1.1, з)	Твердость тем выше, чем больше содержание углерода; в сталях с 0,6—0,7 % С достигает HRC 63—65
Остаточный аустенит	Если Mк ниже 20 ⁴		Аустенит, сохраняющийся в результате не завершившегося до конца мартенситного превращения	Нестабилен; при охлаждении ниже Mк (ниже 0 °C) превращается в мартенсит

¹ Заключается в диффузионном распаде аустенита на феррито-цементитную смесь. ² Бездиффузионное превращение аустенита в результате полиморфного превращения железа без изменения массовой доли углерода. ³ Температуры (точки) начала (Mn) и конца (Mk) мартенситного превращения. ⁴ Углерод и легирующие компоненты, кроме кобальта и алюминия, снижают точки Mn и Mk; при содержании углерода в стали более 0,6 % точка Mk ниже 0 °C.

ратуры или же после непрерывного охлаждения до этой температуры, практически одинаковы. В зависимости от степени переохлаждения аустенита различают перлитное, промежуточное или мартенситное превращения (табл. 1.4).

Термическая обработка стали, заключающаяся в нагреве выше критических температур и охлаждении, в результате которого образуется мартенсит, называется закалкой. Охлаждение должно осуществляться со скоростью больше критической. К р и т и ч е с к а я с к о р о с т ь з а к а л к и ($v_{кр}$ — касательная к С-образной кривой) — минимальная скорость охлаждения, при которой подавляются диффузионные превращения и аустенит превращается в мартенсит.

З а к а л и в а е м о с т ь — свойство стали приобретать высокую твердость в результате закалки. Она зависит от содержания углерода. Чем его больше, тем выше твердость стали после закалки.

П р о к а л и в а е м о с т ь — свойство стали воспринимать закалку на определенную глубину. За глубину закаленного слоя условно принимают расстояние от поверхности до зоны, в структуре которой содержится 50 или 90 % мартенсита (остальное троостит). Прокаливаемость обычно оценивают критическим диаметром d_k — диаметром (размером) сечения изделия, прокаливающегося насквозь (в центре 50 или 90 % мартенсита). Она тем выше, чем больше устойчивость переохлажденного аустенита и, следовательно, меньше критическая скорость закалки. Наименьшую прокаливаемость имеют углеродистые стали ($d_k = 10 \div 15$ мм), у которых минимальная устойчивость переохлажденного аустенита (1—2 с) и очень высокая $v_{кр}$.

Внутренние напряжения возникают в основном в процессе закалки и разделяются на тепловые и структурные. Т е п л о в ы е (или термические) напряжения появляются вследствие неравномерного охлаждения различных частей (поверхности и сердцевины) изделия. С т р у к т у р н ы е напряжения являются результатом превращения аустенита в мартенсит, который имеет больший объем, чем аустенит. Тепловые и структурные напряжения возникают одновременно и суммируются. Знак остаточных напряжений определяется соотношением их абсолютных величин. Наиболее опасными являются растягивающие напряжения на поверхности.

П р е в р а щ е н и я в стали, закаленной на мартенсит, при нагреве. После закалки сталь получает типичную структуру, состоящую из мартенсита и остаточного аустенита, которые являются неравновесными фазами и при последующем нагреве претерпевают превращения. Количество остаточного аустенита тем больше, чем выше содержание углерода в стали. Кроме того, в закаленных заэвтектоидных сталях присутствует вторичный цементит, который не испытывает превращений.

В процессе нагрева закаленной стали (отпуска) до 500—550 °С происходит распад мартенсита на феррито-цементитную смесь, прев-

ращение остаточного аустенита по бейнитному механизму, снятие внутренних напряжений.

1.4. Влияние легирующих компонентов

Легирующие компоненты — элементы, которые специально вводят в сталь для изменения ее структуры и свойств. Стали, содержащие легирующие компоненты (элементы), называют легированными. Легирующими могут быть элементы, взаимодействующие с основными компонентами стали: железом (табл. 1.5) и уг-

1.5. Классификация легирующих компонентов¹ по отношению к железу

Группа легирующих компонентов		Тип кристаллической решетки	Растворимость в железе		Влияние на температуры		
			α	γ	A_1	A_3	Mn
I	Cr	Объемно центрированная кубическая (ОЦК)	Хорошая	Плохая	Повышают	Снижает	Снижают
	Mo					Повышают	
	W						
	V						
	Ti						
	Si						
II	Mn	Гранецентрированная кубическая (ГЦК)	Плохая	Хорошая	Снижают		
	Ni				Повышает		
	Co						

¹ При больших содержаниях легирующих компонентов полиморфное превращение может отсутствовать; легирование компонентами I группы делает устойчивым во всем интервале температур (от 20 °С до плавления) α -твердый раствор (феррит), II группы — γ -твердый раствор (аустенит). Такие стали и сплавы называют соответственно ферритными и аустенитными.

леродом (табл. 1.6). С железом легирующие элементы, как правило, образуют твердые растворы замещения, оказывая влияние на полиморфное превращение.

1.6. Классификация легирующих компонентов¹ по отношению к углероду

Сотношение к углероду	Легирующие компоненты	Характеристики
Карбидообразующие ²	Ti, Nb, V, W, Mo, Cr, Mn	Образуют карбиды
Графитизаторы	Ni, Si	Вызывают распад карбидов и выделение углерода в виде графита
Нейтральные	Co	Не образуют и не разрушают карбидов

¹ Легирующие компоненты могут также образовывать окислы, сульфиды, нитриды и интерметаллиды (встречаются в высоколегированных сталях и сплавах). ² Компоненты расположены по мере уменьшения способности к образованию карбидов; карбиды сильных карбидообразующих элементов обладают более высокой твердостью и растворяются в аустените при более высоких температурах.

Основное влияние легирующих компонентов в конструкционных сталях заключается в том, что, растворяясь при нагреве в аустените, они замедляют диффузионные превращения, задерживая распад аустенита при охлаждении и уменьшая критическую скорость заковки. Это повышает прокаливаемость стали и позволяет охлаждать изделия при закалке более медленно. В результате легирование конструкционных сталей повышает прочностные свойства изделий большого сечения, уменьшает деформацию при закалке изделий сложной конфигурации. При этом нерастворившиеся при нагреве карбиды задерживают рост зерна аустенита и дополнительно повышают прочность. Замедляя диффузионные процессы, легирующие компоненты задерживают также распад мартенсита при отпуске закаленной стали, что обеспечивает сохранение высокой твердости и прочности при нагреве.

Легирование инструментальных и специальных сталей и сплавов позволяет получать требуемые механические, физические и химические свойства (см. соответствующие разделы справочника).

1.5. Классификация термической обработки

Термическая обработка, заключающаяся только в термическом воздействии на металл или сплав, включает следующие основные виды: отжиг 1-го рода, отжиг 2-го рода, закалку с полиморфным превращением, закалку без полиморфного превращения, отпуск и старение. Их используют как для сталей, так и для цветных металлов и сплавов. Каждый из этих видов термообработки подразделяют на разновидности, специфические для различных сплавов.

Отжиг — термическая обработка (табл. 1.7), заключающаяся в нагреве до определенной температуры (выше или ниже критических точек), выдержке и последующем медленном охлаждении с целью получения более равновесной структуры; вызывает разупроч-

1.7. Основные виды и разновидности отжига

Вид и разновидность	Характеристика	Назначение
Отжиг 1-го рода:	Отжиг, при котором, как правило, не происходит фазовых превращений (перекристаллизации) или же они не оказывают влияния на конечные результаты	Для частичного или полного устранения отклонений от равновесного состояния, возникающих при предыдущих технологических процессах (литье, обработке давлением, сварке и др.)
гомогенизирующий (диффузионный)	Отжиг с длительной выдержкой при высоких температурах (для сталей выше 950 °C)	Для выравнивания химического состава (устранения дендритной ликвации)
рекристаллизационный ¹	Отжиг при температуре, превышающей начало рекристаллизации	Для устранения наклепа и получения определенной величины зерна
дорекристаллизационный	Отжиг при температурах ниже начала рекристаллизации	Для повышения предела упругости и прочностных свойств; используется также как смягчающий для частичного устранения наклепа путем возврата

Вид и разновидность	Характеристика	Назначение
релаксационный (низкий отжиг)	Отжиг в широком интервале температур ниже A_{c1} (160—700 °C)	Для снятия внутренних напряжений в отливках, сварных изделиях, поковках, в деталях после обработки резанием, шлифованием и т. п.
Отжиг 2-го рода:	Отжиг, основанный на фазовых превращениях (перекристаллизации) при нагреве и охлаждении	В сталях приводит к превращению аустенита в перлит
полный	Отжиг доэвтектоидной стали с нагревом на 30—50 ° C выше A_{c3}	Для получения в результате полной перекристаллизации ферритно-перлитной ($\Phi + \Pi$) структуры и хорошей обрабатываемости резанием
неполный	Отжиг доэвтектоидной стали с нагревом выше A_{c1} , но ниже A_{c3}	Для частичной перекристаллизации, если горячая пластическая деформация не привела к образованию крупного зерна
сфероидизирующий	Отжиг эвтектоидной и заэвтектоидной сталей с нагревом немного выше A_{c1} с последующим охлаждением до температур несколько ниже A_{r1}	Для получения зернистого перлита в результате сфероидизации цементита с целью улучшения обрабатываемости резанием ²

Вид и разновидность	Характеристика	Назначение
изотермический	Отжиг с нагревом на 30—50 °С выше A_{c3} для доэвтектоидной и A_{c1} для заэвтектоидной сталей, ускоренным охлаждением до температуры на 100—150 °С ниже A_{r1} и последующей изотермической выдержкой, в процессе которой происходит перлитное превращение аустенита	Применяется чаще для легированных сталей; позволяет сократить продолжительность по сравнению с обычным отжигом
нормализационный (нормализация)	Нагрев на 30—50 °С выше A_{c3} для доэвтектоидной и A_{cm} для заэвтектоидной сталей с последующим охлаждением на воздухе для получения структуры сорбита или тонкопластинчатого перлита	Для доэвтектоидных низкоуглеродистых сталей вместо отжига, обеспечивая достаточно низкую твердость и хорошую обрабатываемость резанием; среднеуглеродистых — вместо улучшения (с целью упрочнения); для заэвтектоидных — с целью устранения цементитной сетки

¹ Применяют для заготовок и изделий, полученных пластической деформацией, которая вызвала наклеп (упрочнение) металла, затрудняющий дальнейшее деформирование; часто используют как промежуточный между операциями холодного деформирования. ² Если не происходит полной сфероидизации, то нагрев и охлаждение относительно точки A_1 многократно повторяют — циклический или маятниковый отжиг.

нение металлов и сплавов (уменьшение прочности и твердости), повышение пластичности и снятие остаточных напряжений.

Закалка. Осуществляется для получения неравновесной структуры; возможна, если в сплаве имеет место переменная растворимость компонентов в твердом растворе, происходит полиморфное превращение, распад высокотемпературного твердого раствора по эвтектоидной реакции и др. Для конструкционных и инструментальных сталей и сплавов закалку проводят с целью упрочнения или подготовки к упрочнению при последующем отпуске (старении); могут достигаться и обе цели, например при закалке быстрорежущих сталей. Закалка (табл. 1.8) может быть объемной (нагрев и пре-

1.8. Основные виды и разновидности закалки

Вид и разновидность	Характеристика	Назначение
Закалка с полиморфным превращением:	Нагрев на 30—50 °С выше A_{c3} для доэвтектоидной и A_{c1} для заэвтектоидной сталей ¹ , выдержка для завершения фазовых превращений и последующее охлаждение со скоростью больше критической ²	Мартенситное превращение аустенита для повышения механических свойств
непрерывная ³	Закалка с непрерывным охлаждением в одной среде	Для получения структуры мартенсита
прерывистая	Закалка с быстрым охлаждением (в воде) до температур выше M_n и последующим более медленным охлаждением (в масле или на воздухе) в интервале M_n — M_k	Для получения структуры мартенсита и уменьшения внутренних напряжений
ступенчатая ⁴	Закалка с охлаждением в среде с температурой немного выше M_n , выдержкой для выравнивания температуры, но недопускающей распада аустенита, и последующим охлаждением на воздухе	Для получения структуры мартенсита и уменьшения внутренних напряжений
изотермическая	Закалка с охлаждением до температуры немного выше M_n , изотермической выдержкой до полного или частичного распада аустенита и последующим охлаждением на воздухе	Для получения структуры бейнита или бейнита с мартенситом и уменьшения внутренних напряжений
с самоотпуском	Закалка с охлаждением только поверхности или части изделия кратковременным погружением в охлаждающую среду с последующим самоотпуском ⁵ за счет остаточной внутренней теплоты	Для получения структуры мартенсита отпуска или структуры продуктов распада мартенсита

Вид и разновидность	Характеристика	Назначение
с обработкой холодом	Заключается в охлаждении закаленной стали до температур ниже 0°C (ниже M_k)	Для превращения остаточного аустенита в мартенсит
Закалка без полиморфного превращения:	Нагрев сплава (стали) до температуры, обеспечивающей необходимое растворение вторичных фаз, выдержка и охлаждение с высокой скоростью (предотвращающей выделение фаз)	Для получения пересыщенного неравновесного твердого раствора
	По способу охлаждения может быть непрерывной, ступенчатой или изотермической	
возврат после старения	Закалка состаренного сплава с нагревом до температуры, превышающей температуру предшествующего старения, кратковременной выдержкой и быстрым охлаждением	Для восстановления закаленного состояния

¹ Многие легированные стали необходимо нагревать значительно выше критических точек, что связано с высокими температурами растворения специальных карбидов в аустените. ² Достигается охлаждением углеродистых сталей в воде, легированных — в масле или других средах. ³ Для уменьшения внутренних напряжений изделия перед погружением в охлаждающую среду иногда некоторое время охлаждают на воздухе (не ниже A_1 и A_1') — закалка с подсушиванием. ⁴ Иногда совмещается с правкой изделия, которую проводят в период охлаждения на воздухе. ⁵ Температуру самоотпуска определяют по цветам побежалости; при достижении заданной температуры (цвета) производят немедленное охлаждение в воде.

вращения по всему объему изделия) и поверхностной (нагрев и превращения в поверхностном слое).

Отпуск — окончательная термическая обработка, заключающаяся в нагреве сплава (стали), предварительно подвергнутого закалке с полиморфным превращением (на мартенсит) до температур ниже температуры фазовых превращений (A_{c1}), выдержке (обычно не менее 1 ч) и охлаждении с целью получения заданной структуры и требуемых свойств (табл. 1.9), которые формируются в результате приближения сплава (стали) к равновесному состоянию, распада пересыщенного твердого раствора (мартенсита) и снятия внутренних

1.9. Разновидности отпуска сталей

Разновидность	Назначение, структура	Свойства
Низкий (150—250 °C)	Для получения структуры мартенсита отпуска и уменьшения остаточных напряжений	Сохраняется высокая твердость, повышается предел прочности
Средний (350—480 °C)	Для получения структуры троостита отпуска ¹ и снятия остаточных напряжений	Высокий предел упругости
Высокий (500—680 °C) ²	Для получения структуры сорбита отпуска ¹ и снятия остаточных напряжений	Высокая ударная вязкость
Высокий (400—600 °C) ³ упрочняющий	Для упрочнения за счет выделения из мартенсита (аустенита) дисперсных карбидов или интерметаллидов, вызывающих дисперсионное твердение	Высокие твердость, предел прочности, предел упругости, теплоустойчивость и др.

¹ Троостит и сорбит отпуска в отличие от аналогичных структур, получаемых при распаде переохлажденного аустенита, имеют не пластинчатое, а зернистое строение, что обеспечивает более высокие значения предела текучести, пластичности и ударной вязкости. ² Сочетание закалки и высокого отпуска называется улучшением. ³ Применяют для высоколегированных дисперсионно-твердеющих сталей; при необходимости повторяют 2—3 раза.

напряжений. Охлаждение обычно выполняют на воздухе; в некоторых случаях охлаждают в масле или воде, чтобы избежать появления отпускной хрупкости (при высоком отпуске изделий из легированных сталей).

Старение — термическая обработка, при которой главным процессом является распад пересыщенного твердого раствора. Применяют для упрочнения сплавов, подвергнутых закалке без полиморфного превращения, за счет дисперсионного твердения, а также для разупрочнения, которое достигается приближением сплава к более равновесному состоянию. Различают естественное старение, осуществляемое при 20 °C в течение длительной выдержки; искусственное старение (табл. 1.10), выполняемое при нагреве до определенных температур.

1.10. Разновидности искусственного старения

Разновидность	Характеристика	Назначение
Упрочняющее старение		
Полное	Старение, обеспечивающее наибольший эффект дисперсионного твердения; достигается соответствующим выбором температуры и продолжительности	Для получения наибольшей прочности
Неполное	Старение при более низких температурах и (или) более коротких выдержках, чем полное	Для повышения прочности при сохранении достаточной пластичности
Старение без предварительной закалки	Старение сплава со структурой пересыщенного твердого раствора, образовавшегося при ускоренном охлаждении после литья или горячей обработки давлением	Для повышения прочностных свойств
Ступенчатое	Старение вначале при более низкой, а затем при более высокой температуре	Обеспечивает в ряде случаев лучшие эксплуатационные свойства
Разупрочняющее и стабилизирующее старение		
Смягчающее (перестраивание)	Старение при более высокой температуре и большей выдержке, чем полное, с целью разупрочнения в результате распада твердого раствора и коагуляции выделяющихся фаз	Для повышения пластичности при сохранении достаточно высокой прочности, повышения коррозионной стойкости и др.
Стабилизирующее ¹	Разновидность перестаривания; приводит к релаксации внутренних напряжений; выполняется при температурах выше рабочей температуры изделия	Для стабилизации свойств и размеров изделия

¹ Часто термин «старение» используют вместо термина «низкий отжиг» (см. табл. 1.7).

1.11. Разновидности химико-термической обработки

Разновидность	насыщающий элемент	Температура, °С	Время, ч	Назначение и свойства
Цементация ¹	Углерод	900—950	5—20	Повышение твердости и износостойкости поверхностного слоя деталей. Твердость HRC 58—62; глубина слоя 0,5—2,0 мм.
Азотирование	Азот	500—650	24—60 ²	Повышение твердости и износостойкости, которые зависят от марки стали; в сталях с алюминием HV 1000—1200. Глубина слоя 0,3—0,6 мм. Повышение коррозионной стойкости
		600—700	0,25—2	
Цианирование: высокотемпературное ¹ среднетемпературное ¹ низкотемпературное ¹	Углерод и азот (насыщение в жидкой среде)	920—960	1,5—6	Повышение твердости (HV 700—1100 в зависимости от марки стали) и износостойкости. Глубина слоя 0,2—2,0 мм при высокотемпературных; 0,15—0,35 мм при среднетемпературных и 0,01—0,08 мм при низкотемпературных процессах
		820—860 ³	0,5—1,5	
		540—560	0,1—1	
Нитроцементация: высокотемпературная ¹ низкотемпературная	Углерод и азот (насыщение в газовой среде)	820—860 ³	2—10	
		560—580	0,5—5,0	
Борирование	Бор (слой крупный)	750—1050	1—6	Повышение твердости (HV 1800—2000), износостойкости, коррозионной стойкости, теплоустойчивости (до 900—950 °С) и окалиностойкости (до 800 °С). Глубина слоя 0,1—0,2 мм
Силицирование	Кремний (пористый слой)	950—1200	0,5—12	Повышение коррозионной стойкости (особенно в морской воде и кислотах) и износостойкости (при низкой твердости HV 200—300) после пропитки маслом при 170—200 °С. Глубина слоя 0,1—0,8 мм
Хромирование	Хром	900—1150	1—12	Повышение твердости (до HV 1200—1300), износостойкости, коррозионной стойкости и окалиностойкости (до 800 °С). Глубина слоя 0,01—0,3 мм
Алитирование	Алюминий	700—1100	0,25—12	Повышение коррозионной стойкости и окалиностойкости (до 850—900 °С). Твердость HV 500; глубина слоя 0,2—0,6 мм
Цинкование	Цинк	300—550	0,25—10	Повышение коррозионной стойкости. Глубина слоя 0,02—0,2 мм
		700—1000		

¹ Требуемые свойства достигаются после последующей закалки и низкого отпуска. ² Для уменьшения продолжительности насыщения применяют двухступенчатое азотирование: I ступень — при 500—520 °С; II ступень — при 540—600 °С. ³ Закалка выполняется часто непосредственно из насыщающей ванны (цианирование) или печи (нитроцементация).

1.6. Химико-термическая обработка

Химико-термическая обработка (ХТО) заключается в сочетании термического и химического воздействия с целью изменения химического состава, структуры и свойств поверхностного слоя изделия. Она включает диффузионное насыщение неметаллами (углеродом, азотом, бором и др.), диффузионное насыщение металлами (диффузионная металлизация — алюминием, хромом, цинком, титаном и др.), диффузионное удаление примесей (углерода, кислорода, водорода).

Диффузионное насыщение поверхностных слоев изделий соответствующими элементами выполняется при нагреве в специальных средах (твердых, газовых, жидких). В процессе выдержки происходит образование активных атомов в насыщающей среде, их адсорбция на поверхности изделия и последующая диффузия (перемещение) в глубь металла. Возможно одновременное насыщение несколькими элементами (комплексное насыщение). В целях ускорения ХТО и повышения качества поверхностных слоев широко применяют процессы ионного насыщения (например, азотирование в тлеющем разряде).

ХТО может применяться как окончательная или как предварительная с последующей упрочняющей термической обработкой (табл. 1.11). При диффузионном насыщении в поверхностном слое возникают, как правило, значительные остаточные напряжения сжатия, что повышает предел выносливости изделий.

Диффузионное удаление примесей используют для удаления кислорода (обескислороживание), водорода (обезводороживание), углерода (обезуглероживание) и др. Осуществляют при нагреве в вакууме и различных средах за счет диффузии атомов примесей из сердцевины к поверхности изделия и их удаления с поверхности. Широко применяют в промышленности сквозное обезуглероживание трансформаторной стали отжигом листов в водороде.

1.7. Термомеханическая обработка

Термомеханическая обработка (ТМО) заключается в сочетании пластической деформации и термического воздействия. Пластическая деформация создает повышенную плотность и оптимальное распределение дефектов (дислокаций), что оказывает благоприятное влияние на формирование структуры при фазовых превращениях. Применяют различные способы ТМО сталей (табл. 1.12).

1.12. Разновидности термомеханической обработки сталей

Разновидность	Характеристика	Назначение
Высокотемпературная (ВТМО)	Деформация при температуре выше A_{c3} со степенью обжатия 25—50 %, закалка с деформационного нагрева во избежание развития рекристаллизации, низкий отпуск (100—300 °C)	Повышение прочности (до $\sigma_b = 2200 \div 2600$ МПа), достигаемое при хорошей пластичности ($\delta = 7 \div 8$ %, $\psi = 50 \div 60$ %) и ударной вязкости
Высокотемпературная изотермическая (ВТМИЗО)	Деформация при тех же условиях, что и ВТМО. Охлаждение до температуры бейнитного превращения с последующей изотермической выдержкой	Повышение прочности и пластичности. Упрочнение наследуется и в случае последующей заковки
Низкотемпературная (НТМО, аусформинг)	Нагрев выше A_{c3} , быстрое охлаждение ($v_{охл} > v_{кр}$) до температуры ниже температуры рекристаллизации, но выше M_s ; деформация со степенью обжатия 75—95 %, закалка с деформационного нагрева, низкий отпуск	Повышение прочности (до $\sigma_b = 2800 \div 3300$ МПа) при меньших, чем в случае ВТМО, ударной вязкости и пластичности ($\delta = 3 \div 7$ %)
С деформацией во время перлитного превращения (ТМИЗО, изоформинг)	Нагрев выше A_{c3} , охлаждение до температур перлитного превращения, деформация со степенью обжатия не менее 70 %, охлаждение на воздухе	Повышение предела текучести и ударной вязкости по сравнению с равновесным состоянием ¹
Предварительная (ПТМО)	Холодная пластическая деформация, отпуск при температуре ниже температуры рекристаллизации; закалка после скоростного нагрева (в соляной ванне или ТВЧ), отпуск	Повышение механических свойств после термической обработки ² , при которой наследуются дефекты структуры наклепанной стали

Разновидность	Характеристика	Назначение
Механико-термическая (МТО, марформинг)	Закалка, низкий отпуск, пластическая деформация со степенью обжатия 2—5 %, низкий отпуск	Повышение прочности на 10—25 % по сравнению с обычной закалкой

¹ Может использоваться как предварительная с последующей термической обработкой, при которой наследуются преимущества в свойствах. ² В технологическом цикле может быть отделена по времени от пластической деформации.

1.8. Механические свойства металлов и методы их определения

Применяют различные виды механических испытаний. Статические — когда нагрузка, прилагаемая к образцу, возрастает медленно и плавно. К ним относят испытания на растяжение, сжатие, кручение, изгиб, твердость. Динамические — когда нагрузка прилагается с ударом, т. е. с большой скоростью — ударное растяжение, ударный изгиб (ударная вязкость).

Испытания при повторно-переменной нагрузке, вызывающие появление усталостных трещин и разрушение, когда нагрузка прилагается многократно. При испытаниях на усталость определяют предел выносливости (σ_{-1}) — наибольшее напряжение, которое выдерживает металл без разрушения при заданном числе симметричных циклов знакопеременного нагружения (растяжение—сжатие).

Все виды испытаний проводят в основном при комнатной температуре, а в некоторых случаях — при повышенных или пониженных температурах. Испытания выполняют на образцах стандартных размеров в одинаковых условиях, что позволяет сравнивать и оценивать свойства различных материалов.

Испытания на растяжение — это наиболее распространенный вид испытаний, позволяющий определить многие свойства материала (ГОСТ 1497—73).

Модуль упругости E , МПа — отношение нормального напряжения к соответствующему относительному удлинению в пределах соблюдения закона Гука (прямая на диаграмме нагрузка — относительное удлинение). Графически его определяют как тангенс угла наклона прямолинейного участка диаграммы (рис. 1.5). Характеризует жесткость материала.

Временное сопротивление σ_b (предел прочности), МПа — напряжение, отвечающее наибольшей нагрузке, пред-

шествующей разрушению образца (ее относят к исходной площади сечения образца). Предел прочности характеризует сопротивление материала большим пластическим деформациям. Иногда оценивают истинное сопротивление разрыву S_k , МПа — напряжение, определяемое отношением нагрузки в момент разрыва к площади минимального поперечного сечения образца в месте разрыва.

Предел упругости, МПа — напряжение, при котором остаточное удлинение достигает установленной техническими условиями величины (например, 0,05; 0,01; 0,02; 0,005 %); обозначается соответственно $\sigma_{0,05}$, $\sigma_{0,01}$, $\sigma_{0,02}$, $\sigma_{0,005}$.

Предел текучести (физический) σ_T , МПа — наименьшее напряжение, при котором образец деформируется без заметного увеличения растягивающей нагрузки. При отсутствии площадки текучести определяют предел текучести (условный) $\sigma_{0,2}$, МПа — напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,2 %. Предел текучести является важнейшей характеристикой конструкционных пластичных материалов, необходимой для расчета и выбора запаса прочности деталей, поскольку в большинстве случаев их пластическая деформация при работе недопустима.

Относительное удлинение δ , % — отношение приращения расчетной длины образца после разрыва ($l_k - l_0$) к ее первоначальной величине (l_0). Относительное сужение ψ , % — отношение разности начальной площади поперечного сечения образца и площади в месте разрыва к начальной площади. Относительное удлинение и сужение являются характеристиками пластичности материала и определяют его возможность к перераспределению и релаксации (ослабление, уменьшение) возникающих при нагружении изделий пиковых локальных напряжений.

Испытания на сжатие, кручение, изгиб — это более «мягкие» виды испытаний по сравнению с испытаниями на растяжение, так как доля нормальных напряжений при них меньше. Испытания на изгиб по степени жесткости занимают промежуточное положение между растяжением и кручением; при этом материал в соответствующих зонах подвергается действию сжимающих и растягивающих напряжений. Методы используют при определении механических свойств хрупких материалов (например, для инструментальных сталей с твердостью более HRC 50).

Определение твердости материалов. Твердость — свойство ма-

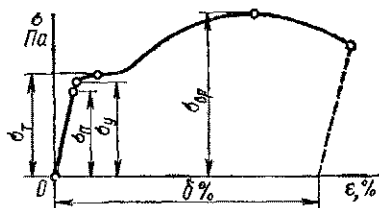


Рис. 1.5. Диаграмма напряжение—деформация при растяжении

**1.13. Соответствие значений твердости, измеряемых методами
Бринелля, Роквелла и Виккерса**

Твердость					
по Бринеллю		по Роквеллу			по Виккерсу (HV)
шарик $D=10$ мм $P=3000$ даН		алмазный конус		шарик	
диаметр отпечатка, мм	HB	HRA	HRC	HRC	
2,25	745	83,0	70,0	—	1149
2,30	712	82,0	68,0	—	1067
2,35	682	82,0	66,0	—	980
2,40	653	82,0	64,0	—	868
2,45	627	81,0	62,0	—	832
2,50	601	81,0	59,0	—	756
2,55	578	80,0	57,0	—	693
2,60	555	79,0	56,0	—	653
2,65	534	78,0	54,0	—	610
2,70	514	77,5	52,5	—	586
2,75	496	76,0	51,0	—	563
2,80	477	76,0	49,5	—	531
2,85	461	75,0	48,0	—	508
2,90	444	74,0	47,0	—	484
2,95	429	73,0	45,5	—	457
3,00	415	73,0	44,0	—	442
3,05	401	72,0	42,0	—	419
3,10	388	71,0	41,0	—	406
3,15	375	70,0	39,5	—	383
3,20	363	70,0	39,0	—	377
3,25	352	69,0	38,0	—	361
3,30	341	69,0	37,0	—	351
3,35	331	68,0	36,0	—	342
3,40	321	68,0	35,0	—	328
3,45	311	67,0	33,5	—	315
3,50	302	67,0	33,0	—	307
3,55	293	66,0	31,0	—	297
3,60	285	66,0	30,0	—	288
3,65	277	65,0	29,0	—	280
3,70	269	65,0	28,0	—	271
3,75	262	64,0	27,0	—	264
3,80	255	64,0	26,0	—	259
3,85	248	63,0	25,0	—	247
3,90	241	63,0	24,0	100	242
3,95	235	62,0	23,0	99	235
4,00	229	62,0	22,0	98	229
4,05	223	61,0	21,0	97	223
4,10	217	61,0	20,0	97	217
4,15	212	60,0	19,0	95	211

Твердость					
по Бринеллю		по Роквеллу			по Виккерсу (HV)
шарик $D=10$ мм. $P=3000$ даН		алмазный конус		шарик	
диаметр отпечатка, мм	HB	HRA	HRC	HVB	
4,20	207	60,0	18,0	95	206
4,25	201	59,0	—	93	200
4,30	197	58,0	—	93	196
4,35	192	58,0	—	92	191
4,40	187	57,0	—	91	186
4,45	183	56,0	—	89	181
4,50	179	56,0	—	88	179
4,55	174	55,0	—	87	172
4,60	170	55,0	—	87	169
4,65	167	54,0	—	85	165
4,70	163	53,0	—	84	162
4,75	159	53,0	—	83	159
4,80	156	52,0	—	82	155
4,85	152	52,0	—	81	152
4,90	149	51,0	—	80	149
4,95	146	50,0	—	78	146
5,00	143	50,0	—	77	143
5,05	140	—	—	76	—
5,10	137	—	—	75	—
5,15	134	—	—	74	—
5,20	131	—	—	72	—
5,25	128	—	—	71	—
5,30	126	—	—	70	—
5,35	123	—	—	69	—
5,40	121	—	—	68	—
5,45	118	—	—	67	—
5,50	116	—	—	65	—
5,55	114	—	—	64	—
5,60	111	—	—	63	—
5,65	109	—	—	61	—
5,70	107	—	—	59	—
5,75	105	—	—	58	—
5,80	103	—	—	56	—
5,85	101	—	—	55	—
5,90	99	—	—	54	—
5,95	97	—	—	53	—
6,00	96	—	—	52	—

териала оказывать сопротивление местной упругой (метод Шора) и пластической деформации или разрушению (метод царапания). Наиболее часто ее определяют вдавливанием. В этом случае твердость характеризует сопротивление материала пластической деформации. Макротвердость оценивает усредненную твердость материала; микротвердость — твердость отдельных структурных составляющих и фаз.

Способы измерения твердости наиболее часто используют для оценки качества термической обработки, так как они отличаются простотой и быстротой выполнения, являются неразрушающими методами контроля, могут выполняться на готовых изделиях.

При измерении твердости по Бринеллю (ГОСТ 9012—59) стальной закаленный шарик диаметром D вдавливается в испытуемый образец (изделие) под действием нагрузки P , приложенной в течение определенного времени. После снятия нагрузки измеряют диаметр отпечатка d , оставшегося на образце. Число твердости определяют по формуле: $HВ = 2P / [\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})]$. Диаметр отпечатка измеряют с помощью лупы, вмонтированной в трубку компаратора вместе с прозрачной шкалой. Значения твердости обычно определяют не расчетом, а по таблицам (табл. 1.13). В зависимости от вида материала назначают разные условия проведения испытаний (табл. 1.14). Твердость испытуемых материалов не должна превышать HВ 450.

При измерении твердости по Бринеллю шариком $D=10$ мм под нагрузкой $P=30\,000$ Н с выдержкой $t=10$ с перед числом твердости ставят символ HВ (например, HВ 320). При других условиях измерения обозначение HВ дополняют пифрами, показывающими последовательно диаметр шарика (мм), нагрузку (даН) и продолжительность выдержки (с), например HВ 5/250/30.

Для стали между твердостью по Бринеллю и пределом прочности σ_b при растяжении существует количественная зависимость: $\sigma_b \approx \approx 0,34$ HВ.

При измерении твердости по Роквеллу (ГОСТ 9013—59) наконечник стандартного типа (алмазный конус или стальной шарик) вдавливается в испытуемый образец или изделие под действием двух последовательно прилагаемых нагрузок — предварительной P_0 и общей P , которая равна сумме предварительной P_0 и основной P_1 нагрузок. Твердость по Роквеллу определяют в условных единицах. За единицу твердости принята величина, соответствующая осевому перемещению наконечника на 0,002 мм. Числа твердости по Роквеллу выражаются формулами: $HR=100-e$ для шкал А и С; $HR=130-e$ для шкалы В, где $e=(h-h_0)/0,002$, h — глубина внедрения под действием общей P нагрузки, h_0 — под действием предварительной P_0 нагрузки.

Шкалу А (HRA) используют при измерении твердости очень

1.14. Рекомендуемые параметры для определения твердости по Бринеллю

Материал	Интервал твердости в числах Бринелля, HB	Минимальная толщина образца, мм	Соотношение между нагрузкой и диаметром шарика D	Диаметр шарика D , мм	Нагрузка P , даН	Время выдержки под нагрузкой, с
Черные	140—450	6—3 4—2 2	$P=30D^2$	10 5 2,5	3000 750 187,5	10
Черные	<140	>6 6—3 <3	$P=10D^2$	10 5 2,5	1000 250 62,5	10
Цветные	>130	6—3 4—2 <2	$P=30D^2$	10 5 2,5	3000 750 187,5	30
Цветные	35—130	9—3 6—3 <3	$P=10D^2$	10 5 2,5	1000 250 62,5	30
Цветные	8—35	>6 6—3 <3	$P=2,5D^2$	10 5 2,5	250 62,5 15,6	60

твердых материалов (например, твердых сплавов); шкалу С (HRC) — для твердых материалов (например, закаленных сталей); шкалу В (HRB) — для мягких материалов (отожженные стали и цветные сплавы). Условия измерений твердости по Роквеллу даны в табл.

1.15. Условия измерения твердости по Роквеллу

Шкала	Обозначение твердости	Индентор	Суммарная нагрузка, P , даН	Предел измерения твердости
A	HRA	Алмазный конус	60	HRA 70—85
C	HRC	То же	150	HRC 20—67
B	HRB	Стальной шарик диаметром 1,588 мм	100	HRB 25—100

Примечание. Величина предварительной нагрузки во всех случаях 10 даН.

1.15; перевод значений твердости по Роквеллу в значения твердости, определенной по Бригеллю, — в табл. 1.13.

При определении твердости по Виккерсу (ГОСТ 2999—75) наконечник в форме правильной четырехгранной пирамиды вдавливается в испытуемый образец (изделие) под действием нагрузки P , приложенной в течение определенного времени. После удаления нагрузки измеряются диагонали отпечатка, оставшегося на поверхности образца. Число твердости по Виккерсу определяют по формуле: $HV = (2P \cdot \sin \alpha / 2) / d^2 = 1,8544 \cdot P / d^2$, где P — нагрузка, даН; $\alpha = 136^\circ$ — угол между противоположными гранями пирамиды; d — среднее арифметическое обеих диагоналей отпечатка.

Определения твердости выполняют на шлифованных или полированных образцах со следующими нагрузками: 5, 10, 20, 30, 50 и 100 даН. Продолжительность выдержки под нагрузкой 10—15 с — для черных металлов, 30 с — для цветных. Диагонали отпечатка замеряют оптическим устройством. Метод Виккерса является наиболее совершенным; пригоден для всех материалов и имеет непрерывающуюся шкалу твердости. Соответствие значения твердости по Виккерсу значениям твердости, определенной другими методами, приведено в табл. 1.13.

Прочие методы определения твердости. Метод Поляди применяют для определения твердости массивных деталей. Основан на том, что в результате наносимого молотком удара шарик одновременно вдавливается в измеряемое изделие и в эталонный образец, твердость которого заранее измерена методом Бригелля. Твердость определяют по формуле $HV_D = [(D - \sqrt{D^2 - d^2}) / (D - \sqrt{D^2 - d_0^2})] HV_0$, где HV_0 — твердость эталона; d и d_0 — диаметры отпечатка на испытуемом материале и эталоне. Результаты испытания тем точнее, чем ближе значения твердости эталона и детали.

Твердость по Шору (ГОСТ 23273—78) также определяется на массивных деталях. Она характеризуется высотой отскока бойка со стальным наконечником, который падает на измеряемый образец (изделие) с фиксированной высоты. Число твердости измеряют в условных единицах, соответствующих высоте подъема бойка.

Микротвердость (ГОСТ 9450—76) определяют на микрошлифах вдавливанием алмазной пирамидки с усилием 0,05—5,0 Н аналогично методу Виккерса. Диагонали отпечатка измеряют с помощью окуляр-микрометра при увеличении в 478× или 135× на специальном приборе (ПМТ-3, ПМТ-5).

Определение твердости напильником используют часто в цеховых условиях для определения качества термической обработки с помощью личных напильников по эталонам твердости (набор закаленных колец разной твердости: от HRC 45 до HRC 63 с интервалом через 3—5 единиц). Твердость с достаточной точностью оценивают попеременным опилением изделий и эталонов.

Испытания на ударную вязкость. Ударная вязкость характеризует способность материала сопротивляться динамическим нагрузкам. Испытания выполняют на маятниковых копрах (ГОСТ 9454—78). Образец, опирающийся концами на два упора, подвергают действию удара падающим маятником, который его разрушает.

Наиболее часто используют образцы размерами $10 \times 10 \times 55$ мм с U- или V-образными надрезами, а также гладкие (для определения вязкости хрупких материалов). Ударная вязкость оценивается отношением работы (Дж), затраченной на разрушение, к площади поперечного сечения (м^2) образца (для надрезанных — в месте надреза); обозначается соответственно KCU, KCV, KC (Дж/ м^2).

2. СТАЛЬ. МАРКИ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

2.1. Маркировка сталей

Маркировка сталей осуществляется в соответствии с их классификацией по качеству. В зависимости от содержания вредных примесей (серы и фосфора) различают стали обыкновенного качества (до 0,06 % S и 0,07 % P), качественные (до 0,04 % S и 0,035 % P), высококачественные (до 0,025 % S и 0,025 % P), особовысококачественные (до 0,015 % S и 0,025 % P). Углеродистые стали производят обыкновенного качества, качественные и высококачественные; легированные — качественные, высококачественные и особовысококачественные. Высококачественные стали выплавляют в электропечах, особовысококачественные — электрошлаковым переплавом. Их индексируют соответственно буквами А и Ш в конце обозначения марки.

Маркировка углеродистых сталей. Стали обыкновенного качества обозначают буквами Ст и цифрой, указывающей порядковый номер стали. Чем он больше, тем выше содержание углерода и прочность стали. Буквы Б и В, стоящие впереди марки, означают группу поставки по основной нормируемой характеристике (табл. 2.1):

2.1. Группы и основные марки стали обыкновенного качества

Группа	Характеристика поставки	Марки
А	По механическим свойствам	Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6
Б	По химическому составу	БСт0, БСт1, БСт2, БСт3, БСт4, БСт5, БСт6
В	По механическим свойствам и химическому составу	ВСт1, ВСт2, ВСт3, ВСт4, ВСт5

Дополнительно в конце марки ставят буквы, означающие сп — спокойная, пс — полуспокойная, кп — кипящая (например, СтЗкп, СтЗсп, БСтЗпс, ВСтЗсп и т. п.). Стали обыкновенного качества применяют в основном в состоянии поставки для изготовления деталей строительных конструкций без последующей термической обработки. Спокойные и полуспокойные стали группы В используют также в машиностроении для некоторых сварных конструкций и слабонагруженных деталей машин.

Качественные конструкционные углеродистые стали обозначаются двухзначной цифрой, указывающей среднее содержание углерода в сотых долях процента (например: 10, 20, 45 и т. д.). Инструментальные — буквой У и цифрой, отмечающей среднее содержание углерода в десятых долях процента (У10, У11, У12, У12А и др.).

Маркировка легированных сталей. Цифры, стоящие впереди марки, показывают среднее содержание углерода в сотых (для инструментальных сталей — в десятых) долях процента; если они отсутствуют, то в стали содержится около 1 % С. Легирующие компоненты обозначают буквами: А — азот, Б — ниобий, В — вольфрам, Г — марганец, Д — медь, К — кобальт, М — молибден, Н — никель, Р — бор, С — кремний, Т — титан, Ф — ванадий, Х — хром, Ц — цирконий, Ю — алюминий. Цифра, стоящая за буквой, означает среднее содержание (массовую долю) данного компонента в процентах. Если цифра отсутствует, то его содержится около 1 %, кроме элементов, присутствующих в стали в малых количествах.

Обозначение некоторых легированных сталей и сплавов специального назначения отличается от общепринятого. Оно указывается отдельно в соответствующих разделах справочника. Нестандартные стали, выплавляемые по техническим условиям, обозначают в зависимости от завода изготовителя буквами (ЭИ, ЭП, ДИ) и порядковым номером опытной марки (например, ЭП 637, ДИ-23).

2.2. Конструкционные стали

Их применяют для изготовления деталей машин; конструкционные стали могут быть углеродистыми и легированными с содержанием углерода, как правило, не более 0,5—0,65 %; должны обладать высокими механическими (прочностью, пределом текучести, пластичностью и вязкостью) и хорошими технологическими свойствами. Изделия из конструкционных сталей для получения требуемых эксплуатационных свойств, как правило, подвергают термической или химико-термической обработке. Стали, применяемые в машиностроении, можно разделить по основному способу упрочнения на цементуемые, улучшаемые, азотируемые, а по специализированному назначению — на пружинные, шарикоподшипниковые и др.

Цементуемые стали. К ним относят углеродистые и легированные

стали, содержащие до 0,2—0,3 % С (табл. 2.2, 2.3), основным способом упрочнения которых является цементация с последующей закалкой и низким отпуском. Цементуемые стали применяют для изготовления деталей, работающих в условиях повышенного трения и динамических нагрузок.

После цементации и термической обработки (табл. 2.4) обеспечивается высокая твердость и повышенная износостойкость поверхности деталей. Выбор марки стали основан на необходимости получения требуемых прочности, предела текучести, твердости и высокой вязкости сердцевины детали. Механические свойства сердцевины определяются прокаливаемостью сталей (табл. 2.5).

Углеродистые стали, имеющие неглубокую прокаливаемость, применяют для малонагруженных деталей небольшого сечения и простой формы. Крупные детали ответственного назначения и детали сложной конфигурации изготавливают из легированных сталей. Для тяжело нагруженных деталей используют хромоникелевые и более сложнолегированные стали.

Ответственные детали подвергают двойной закалке (см. табл. 2.4). Первую проводят с нагревом до 850—950 °С, т. е. на 30—50 °С выше A_{c2} стали. Это обеспечивает полную перекристаллизацию и получение мелкого зерна аустенита в сердцевине (при повторном нагреве). Одновременно устраняется цементитная сетка в поверхностном слое. Эта закалка может быть заменена нормализацией.

Вторую закалку выполняют с температуры 750—800 °С, оптимальной для заэвтектоидных и эвтектоидной сталей (на 30—50 °С выше A_{c1}). В результате поверхностный слой приобретает структуру, состоящую из мелконгольчатого мартенсита и зернистых включений вторичного цементита. В сердцевине деталей из углеродистой стали из-за низкой их прокаливаемости сохраняется структура феррита и перлита. Сердцевина изделий из легированных сталей приобретает структуру сорбита, троостита, бейнита или малоуглеродистого мартенсита (в зависимости от химического состава и прокаливаемости). Во всех случаях из-за низкого содержания углерода обеспечивается высокая ударная вязкость при большей прочности для легированных сталей. После двойной закалки обеспечиваются высокие механические свойства по сечению деталей, но увеличивается их коррозия и окисление.

Детали менее ответственного назначения подвергают одной закалке. Одну закалку чаще всего применяют и при газовой цементации; ее выполняют с цементационного нагрева после подстуживания деталей до 780—890 °С.

В цементованном слое сталей с повышенным содержанием легирующих компонентов сохраняется значительное количество остаточного аустенита. Для его устранения детали подвергают высоко-

2.2. Химический состав¹ конструкционных цементуемых сталей

Марки	Содержание компонентов, % (мас.)					
	C	Mn	Cr	Ni	Ti	прочие
Углеродистые стали (ГОСТ 1050—74)						
08	0,05—0,12	0,35—0,65	—	—	—	—
10	0,07—0,14		—	—	—	—
15	0,12—0,19		—	—	—	—
20	0,17—0,24		—	—	—	—
Легированные стали (ГОСТ 4543—71)						
Хромистые и марганцовистые						
15X, 15XA	0,12—0,18	0,4—0,7	0,7—1,0	—	—	—
20X	0,17—0,23	0,5—0,8		—	—	—
15Г	0,12—0,19	0,7—1,0	—	—	—	—
20Г	0,17—0,24		—	—	—	—
Хромомарганцевые и хромованадиевые						
18ХГ	0,15—0,21	0,9—1,2	0,9—1,2	—	—	—
18ХГТ	0,17—0,23	0,8—1,1	1,0—1,3	—	0,03—0,09	—
20ХГР	0,18—0,24	0,7—1,0	0,75—1,05	—	—	До 0,005 В
27ХГР	0,25—0,31		0,7—1,0	—	—	
25ХГМ	0,23—0,29	0,9—1,2	0,9—1,2	—	—	0,2—0,3 Мо
25ХГТ	0,22—0,29	0,8—1,1	1,0—1,3	—	0,03—0,09	—
30ХГТ	0,24—0,32			—		—
15ХФ	0,12—0,18	0,4—0,7	0,8—1,1	—	—	0,06—0,12 V
Хромоникелевые						
20ХН	0,17—0,23	0,4—0,7	0,45—0,75	1,0—1,4	—	—
20ХНР	0,16—0,23	0,6—0,9	0,7—1,1	0,8—1,1	—	До 0,005 В
12ХН2	0,09—0,16	0,3—0,6	0,6—0,9	1,5—1,9	—	—
12ХН3А				2,75—3,15	—	—
20ХН3А	0,17—0,24				—	—
12Х2Н4А	0,09—0,15		1,25—1,65	3,25—3,65	—	—
20Х2Н4А	0,16—0,22	0,3—0,6	1,25—1,65	3,25—3,65	—	—
Хромомарганцевоникелевые						
15ХГН2ТА	0,13—0,18	0,7—1,0	0,7—1,0	1,4—1,8	0,03—0,09	—
20ХГНР	0,16—0,23		0,7—1,1	0,8—1,1	—	До 0,005 В
20ХГНТР	0,18—0,24	0,8—1,1	0,4—0,7	0,4—0,7	0,03—0,09	
Хромоникельмолибденовые						
14Х2Н3МА	0,12—0,17	0,3—0,6	1,5—1,75	2,75—3,15	—	0,2—0,3 Мо
20ХН2М	0,15—0,22	0,4—0,7	0,4—0,6	1,6—2,0	—	
18Х2Н4МА (18Х2Н4ВА)	0,14—0,20	0,25—0,55	1,35—1,65	4,0—4,4	—	0,3—0,4 Мо 0,8—1,2 W

¹ Содержание кремния 0,17—0,37 % во всех марках. Содержание серы и фосфора не более: 0,035 % — в качественных сталях, 0,025 % — в высококачественных каждого, 0,015 и 0,025 % соответственно в особовысококачественных; бор вводят по расчету; остаточное его содержание должно быть не менее 0,001 %; в сталях, легированных молибденом, допускается его частичная замена вольфрамом из расчета: 3 мас. ч. вольфрама заменяют 1 мас. ч. молибдена.

2.3. Критические точки, °С, некоторых марок цементуемых сталей (при нагреве)

Марка	A_{c1}	A_{c3}	Марка	A_{c1}	A_{c3}
08	730	875	20ХГР	752	845
10	732	874	15ХФ	770	850
15	735	863	20ХН	735	805
20	735	855	20ХН2М	700	800
15Х	755	845	20ХН3А	700	760
20Х	740	840	12ХН2	732	795
15Г	735	860	12ХН3А	715	773
20Г	736	853	12Х2Н4А	720	780
18ХГ	765	838	15ХГН2ТА	710	775
18ХГТ	740	840	18Х2Н4МА	720	805

му отпуску при 600—640 °С до закалки или обработке холодом после закалки.

Часто вместо цементации (см. табл. 2.4) выполняют нитроцементацию (цианирование).

Улучшаемые стали. К ним относят углеродистые и легированные стали, содержащие 0,3—0,5 % углерода (табл. 2.6), основным способом упрочнения которых является улучшение, включающее закалку на мартенсит и отпуск на сорбит (табл. 2.7). Их применяют для изготовления ответственных деталей машин, работающих в условиях повышенных напряжений, циклических знакопеременных и ударных нагрузок.

Улучшаемые стали должны обладать высоким пределом текучести в сочетании с высокими пластичностью и вязкостью. Эти характеристики зависят от содержания углерода. Выбор стали для деталей определенного сечения обуславливается ее прокаливаемостью, которая зависит от содержания легирующих компонентов (см. табл. 2.5). При сквозной прокаливаемости (90—95 % мартенсита) механические свойства углеродистых и легированных сталей с равным содержанием углерода после улучшения практически одинаковы. Поэтому концентрация легирующих компонентов в стали не должна превышать уровень, обеспечивающий прокаливаемость детали по всему сечению.

Углеродистые стали, обладающие низкой прокаливаемостью, применяют для деталей небольших сечений и простой формы; легированные стали — для деталей большого сечения и сложной конфигурации. Наиболее высокой прокаливаемостью обладают хромоникелевые стали, дополнительно легированные молибденом (например, 40ХН2МА), который одновременно предупреждает отпускную хрупкость. Последняя характерна для сталей с хромом и устраняется

2.4. Режимы цементации, нитроцементации (цианирования) и термической обработки деталей из цементуемых сталей

Марка	Температура насыщения при ХТО, °С	Закалка			Отпуск	
		температура, °С		охлаждающая среда	температура, °С	охлаждающая среда
		1-я закалка	2-я закалка			
Цементация						
08, 10	920—950	780—800	—	Вода	160—180	Воздух
15, 20	900—920 920—950	780—800 800—820 ¹	— —		160—180 180—200	
15Х, 15ХА 20Х	900—920	870—890 770—800 860—880 ¹	770—820 — —	Вода или масло Масло	170—190 170—190 180—200	Воздух или масло
15Г, 20Г	900—920 880—900	870—890 770—800	— —	Воздух Масло	— 180—200	Воздух
18ХГ	880—900	870—890 ¹	—	»	190—210	Воздух или масло
18ХГТ, 25ХГТ, 30ХГТ	920—950 900—940	880—950 ² 850—870 ¹ 850—870 770—800	840—870 — 770—800 —	»	190—210 180—200 180—200 180—200	
20ХГР	900—930	870—890 900—920 ² 870—890 770—800	— 860—880 770—800 —	»	180—210 170—200 170—200 160—190	
27ХГР	920—950	860—880	—	»	180—200	Воздух
25ХГМ	910—940	850—870 850—870 760—780	— 760—780 —	»	180—210 180—210 160—180	»
15ХФ	920—940 900—925	870—890 870—890 780—810 ¹	780—810 — —	Вода или масло Масло	170—200 170—200 160—190	Воздух или масло Воздух
20ХНР	920—950	930—950 ² 850—870	780—830 780—820	»	180—200 200—500	Воздух или масло
20ХН, 12ХН2, 12ХН3А	900—950	850—870 810—830	760—810 —	Вода или масло	150—200 150—200	То же
20ХН	900—920	750—780	—	Масло	160—180	Воздух
20ХН3А, 12ХН4А, 20ХН4А	900—950	850—870 810—830	760—800 —	»	170—200 170—200	Воздух или масло
12ХН2	920—950	870—890 ¹	—	»	180—200	Воздух

Марка	Температура насыщения при ХТО, °C	Закалка			Отпуск	
		температура, °C		охлаждающая среда	температура, °C	охлаждающая среда
		1-я закалка	2-я закалка			
12ХН3А, 12Х2Н4А, 20Х2Н4А	900—930; от-пуск—600—630 (3—10 ч)	780—800	—	Масло	170—200	Воздух или масло
15ХГН2ТР	950—970	950—970 ²	830—850	»	170—190	То же
	930—950	810—840 800—850 ¹	760—780 —		180—200 160—180	
20ХГНР	930—950	930—950 ² 810—830	780—830 —	»	190—210 180—200	»
20ХГНТР	900—930	830—850	—	»	190—210	Масло
14Х2Н3МА	900—920	870—890	760—780	»	160—190	Воздух
20ХН2М	900—920	850—870	750—780	»	180—210	Вода или масло
	900—930; от-пуск—630—650	800—820	—		180—210	Воздух
18Х2Н4МА, 18Х2Н4ВА	920—950	920—950 ² 840—860 760—780	840—860 — —	»	180—220 180—200 180—200	Воздух или масло
	900—920; от-пуск—600—640 (3—10 ч)	800—820	—		160—180	
	900—920	840—860, от-пуск 680—700	760—780		150—200	

Нитроцементация (цианирование)

08, 10, 15, 20	820—860	820—860 ¹ 760—780	— —	Вода	160—180 160—180	»
15Х, 15ХА, 20Х	820—860	820—860 ¹	—	Масло	180—200	»
15Г, 20Г	840—860	820—840	—	»	180—200	»
30ХГТ, 25ХГМ, 25ХГТ, 20ХГНТР	850—870	850—870 ¹	—	»	170—210	»
12Х2Н4А, 20ХН, 20ХН3А, 20Х2Н4А	840—860	840—860 ¹	—	»	150—180	»
18Х2Н4МА	840—860	760—780	—	»	170—210	»

¹ Закалка с температуры подстуживания. ² Охлаждение на воздухе с цементационного нагрева (нормализация).

2.5. Прокаливаемость некоторых конструкционных сталей

Марка	Критический диаметр, мм			
	Охлаждение в воде		Охлаждение в масле	
	50 % мартен-сита	90 % мартен-сита	50 % мартен-сита	90 % мартен-сита

Цементуемые стали

20X	26—48	12—28	8—24	3—9
18XГ	23—28	12—26	6—16	3—8
18XГТ	33—82	23—48	12—52	6—24
20XH	33—52	23—34	12—28	6—14
20XH3A	70—96	42—64	44—62	20—38
30XГТ	35—75	26—52	14—48	4—24
20XГР	75—97	36—68	33—52	16—40
18X2H4MA	>200	—	>170	—

Улучшаемые стали

40	18—33	12—23	5—12	3—6
60	26—48	12—33	8—24	3—12
40X	38—76	23—58	16—48	6—35
40XH	60—112	40—86	34—76	18—56
30XMA	40—70	28—54	18—42	9—30
35XM	56—100	33—71	31—68	12—46
40XФА	38—90	30—52	16—59	11—27
30XГСА	60—91	40—68	34—60	18—40
40XH2MA	104—126	>70	71—114	>44
38XГН	42—85	28—52	28—54	9—27
40Г	23—37	15—23	6—14	4—6
30Г2	37—78	28—60	16—50	9—34
40Г2	48—93	38—71	24—61	16—44

также быстрым охлаждением деталей при отпуске в воде или масле (см. табл. 2.7). Высокие эксплуатационные свойства изделий обеспечиваются и применением более дешевых хромокремнемарганцовых сталей — хромансиров (типа 30XГСА), которые однако уступают хромоникелевым по прокаливаемости.

Азотируемые стали. Детали машин, работающие в условиях интенсивного трения, для повышения износостойкости подвергают азотированию. При этом в основном используют среднеуглеродистые улучшаемые стали, легированные сильными нитридообразующими компонентами — алюминием, хромом, молибденом, ванадием и титаном. Наиболее высокая твердость и повышенная износостойкость поверхностного слоя обеспечиваются на сталях с алюминием (табл. 2.8). Перед азотированием с целью упрочнения и повышения ударной вязкости сердцевины деталей их подвергают улучшению (табл. 2.9). Реже для деталей, упрочняемых азотированием, используют легиро-

2.6. Химический состав конструкционных улучшаемых сталей

4-253

Марка	Содержание компонентов, % (мас.)					
	C	Mn	Cr	Ni	Mo	прочие

Углеродистые стали (ГОСТ 1050—74)

30	0,27—0,35	0,5—0,8	—	—	—	—
35	0,32—0,4		—	—	—	—
40	0,37—0,45		—	—	—	—
45	0,42—0,50		—	—	—	—
50	0,47—0,55		—	—	—	—
55	0,52—0,6		—	—	—	—
60	0,57—0,65		—	—	—	—

Легированные стали (ГОСТ 4543—71)

Хромистые

30X	0,24—0,32	0,8—1,1	—	—	—
30XPA	0,27—0,33	1,0—1,3	—	—	До 0,005 В
35X	0,31—0,39		—	—	—

Марка	Содержание компонентов, % (мас.)					
	C	Mn	Cr	Ni	Mo	прочие
38XA	0,35—0,42	0,5—0,8	0,8—1,1	—	—	—
40X	0,36—0,44			—	—	—
45X	0,41—0,49			—	—	—
50X	0,46—0,54			—	—	—
Марганцовистые						
25Г	0,22—0,3	0,7—1,0	—	—	—	—
30Г	0,27—0,35		—	—	—	—
35Г	0,32—0,4		—	—	—	—
40Г	0,37—0,45		—	—	—	—
45Г	0,42—0,5		—	—	—	—
50Г	0,48—0,56		—	—	—	—
30Г2	0,26—0,35	1,4—1,8	—	—	—	—
35Г2	0,31—0,39		—	—	—	—
40Г2	0,36—0,44		—	—	—	—
45Г2	0,41—0,49		—	—	—	—
50Г2	0,46—0,55		—	—	—	—
Хромомарганцовые и хромокремнистые						
35ХГ2	0,32—0,4	1,6—1,9	0,4—0,7	—	—	—
40ХГТР	0,38—0,45	0,8—1,0	0,8—1,1	—	—	До 0,005 В 0,03—0,09 Ti
35ХГФ	0,31—0,38	0,95—1,25	1,0—1,3	—	—	0,06—0,12 V
33XC	0,29—0,37	0,3—0,6	1,3—1,6	—	—	1,0—1,4 Si
38XC	0,34—0,42			—	—	1,0—1,4 Si
40XC	0,37—0,45			—	—	1,2—1,6 Si
Хромомолибденовые и хромованадиевые						
30ХМ, 30ХМА	0,26—0,34	0,4—0,7	0,8—1,1	—	0,15—0,25	—
35ХМ	0,32—0,4			—		—
38ХМ	0,35—0,42	0,35—0,65	0,9—1,3	—	0,2—0,3	—
30ХЗМФ	0,27—0,34	0,3—0,6	2,3—2,7	—		0,06—0,12 V

Марка	Содержание компонентов, % (мас.)					
	C	Mn	Cr	Ni	Mo	прочие
40ХМФА	0,37—0,44	0,4—0,7	0,8—1,1	—	—	0,1—0,18 V
40ХФА		0,5—0,8		—	—	

Хромоникелевые

40ХН	0,36—0,44	0,5—0,8	0,45—0,75	1,0—1,4	—	—
45ХН	0,41—0,49				—	—
50ХН	0,46—0,54				—	—
30ХН3А	0,27—0,33	0,3—0,6	0,6—0,9	2,75—3,15	—	—

Хромокремнемарганцовые и хромокремнемарганцовоникелевые

20ХГСА	0,17—0,23	0,8—1,1	0,8—1,1	—	—	0,9—1,2 Si
25ХГСА	0,22—0,28			—	—	
30ХГСА	0,28—0,34			—	—	
35ХГСА	0,32—0,39		0,1—1,4	—	—	1,1—1,4 Si
30ХГСН2А	0,27—0,34	1,0—1,3	0,9—1,2	1,4—1,8	—	0,9—1,2 Si
38ХГН	0,35—0,43	0,8—1,1	0,5—0,8	0,7—1,0	—	—

Хромоникельмолибденовые

30ХН2МА	0,27—0,34	0,3—0,6	0,6—0,9	1,25—1,65	0,2—0,3	—
38ХН2МА	0,33—0,4	0,25—0,5	1,3—1,7	1,3—1,7		—
40ХН2МА	0,37—0,44	0,5—0,8	0,6—0,9	1,25—1,65	0,15—0,25	—
40ХН2МА	0,35—0,42	0,3—0,6	1,25—1,65	1,35—1,75	0,2—0,3	—
38ХН3МА	0,33—0,4	0,25—0,5	0,8—1,2	2,75—3,25	0,2—0,3	—
25ХН4МА	0,21—0,28	0,25—0,55	1,35—1,65	4,0—4,4	0,3—0,4	—

Хромоникельмолибденованадиевые

30ХН2МФА	0,27—0,34	0,3—0,6	0,6—0,9	2,0—2,4	0,2—0,3	0,1—0,18 V
36ХН2МФА	0,33—0,4	0,25—0,5	1,3—1,7	1,3—1,7	0,3—0,4	
38ХН3МФА			1,2—1,5	3,0—3,5	0,35—0,45	
45ХН2МФА	0,42—0,5	0,5—0,8	0,8—1,1	1,3—1,8	0,2—0,3	
20ХН4ФА	0,17—0,24	0,25—0,55	0,7—1,1	3,75—4,15	—	

2.7. Критические точки, термическая обработка и механические свойства конструкционных улучшаемых сталей

Марка	Критические точки, °C		Термическая обработка				Механические свойства				
			Закалка		Отпуск		σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	KCU, МДж/м²
	температура, °C	охлаждающая среда	температура, °C	охлаждающая среда							
					не менее						

Углеродистые стали

30 ³	732	812	840—860	Вода	490—510	Воздух	640	490	16	65	1,6
35 ³	730	802	830—850				700	540	14	62	1,4
40 ³	729	795	820—840				760	590	13	61	1,2
45 ³	728	780					820	640	12	59	1,0
50 ³	727	776	810—830				870	680	11	57	0,8
55 ³		774	800—820				920	730	10	53	0,6
60 ⁴		766			900		600	18	52	0,45	
					540—570						

Легированные стали¹

30X	740	815	840—860	Масло	490—520	Вода или масло	900	700	12	45	0,7
30XPA	—	—			540—570		900	750	13	50	0,9
35X	743	815			490—520		930	750	11	45	0,7
38XA	740	815			530—560		950	800	12	50	0,9
40X	742	800			490—520		1000		10	45	0,6
45X	721	779	820—840	500—530	1050	850	9	40	0,5		
50X		778	810—830		1100	900			0,4		
25Г	—	—	860—880	Вода или масло	540—570	Воздух	500	300	22	50	0,9
30Г	720	820	840—860		580—610		550	320	20	45	0,8
35Г	—	—					570	340	18		0,7
40Г	726	790					600	360	17		0,6
45Г	—	—	830—850	Масло или воздух			620—660	630	380	15	40
50Г	720	770			660			400	13	0,4	
30Г2	718	804	860—880		600			350	15	45	—
35Г2	713	794	850—870		630			370	13	40	—
40Г2	710	780	840—860		670			390	12		—
45Г2	711	766	830—850		700			410	11		—

Марка	Критические точки, °C		Термическая обработка				Механические свойства				
			Закалка		Отпуск		$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	KCU, МДж/м²
	температура, °C	охлаждающая среда	температура, °C	охлаждающая среда							
не менее											
50Г2	710	765	820—840	Масло или воздух	620—660	Воздух	750	430	11	35	—
35ХГ2	735	800	840—860	Масло	580—610	Вода или масло	850	700	12	45	0,8
40ХГТР	745	790	820—840		530—560		1000	800	11		0,8
35ХГФ	—	—	850—870		610—640		930		14	55	0,8
33ХС	750	850	890—920	Вода или масло			900	700	13	50	0,8
38ХС	763	848	880—900	Масло	520—550	Масло	950	750	12		40
40ХС		840					1250	1100		0,35	
30ХМ, 30ХМА²	755	830	860—880		Масло	540—570	Вода или масло	950	750	11	45
35ХМ	757	810	840—860	560—590		950	850	12	0,8		
38ХМ	—	—				Воздух	1000	900	11	0,7	
30ХЗМФ	—	—	860—880	Масло	600—630	Вода или масло	1000	850	12	55	1,0
40ХМФА	740	832	850—870		560—590	Масло	1050	950	13	50	0,9
40ХФА	750	800	860—880		630—660	Вода или масло	900	750	10		0,9
40ХН	735	770	800—820	Вода или масло	490—520		1000	800	11	45	0,7
45ХН	—	—			510—540		1050	850	10		0,7
50ХН	735	768					1100	900	9	40	0,5
30ХН3А	715	780	810—830	Масло	490—520	Вода или масло	1000	800	10	50	0,8
20ХГСА¹	—	—	870—890				470—500	800	650	12	45
25ХГСА²	750	850			520—550		1100	850	10	40	0,6
30ХГСА		840			500—550				45	0,5	
35ХГСА³		830	880, изотермическая закалка в масле с 280—310 °C	Воздух	1650		1400	9	45	0,6	
38ХГН	725	820	840—860	Вода или масло	800	700	12	1,0			
30ХН2МА²	—	—	850—870	Воздух	1000	800	10	0,8			
38ХН2МА	—	—	860—880	Воздух или масло	1100	950	12		50		

Марка	Критические точки, °C		Термическая обработка				Механические свойства				
			Закалка		Отпуск		σ_B , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, МДж/м²
	температура, °C	охлаждающая среда	температура, °C	охлаждающая среда	не менее						
40ХН2МА	760	800	830—850	Масло	600—630	Вода или масло	1100	950	12	50	0,8
40Х2Н2МА	—	—	860—880		580—610				10	45	
38ХН3МА	720	790	830—850		570—600	Воздух		1000	12	50	0,9
25Х2Н4МА	—	—	840—860		540—570	Масло		950	11	45	
30ХН2МФА	—	—	850—870		650—690	Воздух	900	800	10	40	
36Х2Н2МФА	—	—	840—860		580—610		1200	1100	12	50	0,8
38ХН3МФА	720	820					1200		—		
45ХН2МФА	—	—	850—870		460—490	Масло	1450	1300	7	35	0,4
20ХН4ФА	—	—	840—860		600—640	Вода	900	700	12	50	1,0

Нормы механических свойств указаны после термической обработки заготовок с диаметром или стороной квадрата: ¹ 25 мм по ГОСТ 4543—71. ² — 15 мм по ГОСТ 4543—71. ³ — 20 мм по данным [7, 14]. ⁴ 10 мм по данным [7, 14].

2.8. Химический состав¹ конструкционных азотируемых сталей (ГОСТ 4543—71)

Марка	Содержание компонентов, % (мас.)					
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Al
38X2Ю	0,35—0,43	0,2—0,4	0,2—0,5	1,5—1,8	—	0,5—0,8
38X2МЮА	0,35—0,42	0,2—0,45	0,3—0,6	1,35—1,65	0,15—0,25	0,7—1,1

¹ Содержание серы и фосфора не более для 38X2Ю — 0,035 %; для 38X2МЮА — 0,025 % (каждого).

2.9. Режимы термической обработки перед азотированием и механические свойства сталей (ГОСТ 4543—71)

Марка	Температура, °C ¹		Механические свойства ²				
	закалка	отпуск	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	KCU, МДж/м ²
38X2Ю	920—940	610—650	900	750	10	45	0,8
38X2МЮА	930—950	620—660	1000	850	14	50	0,9
18X2H4МА	850—870	530—560	1050	800	12	50	1,2

¹ Охлаждающая среда: закалка — масло; отпуск — масло или вода для сталей 38X2Ю и 38X2МЮА, воздух для стали 18X2H4 МА.

² Даны при твердости НВ 302—341 для изделий диаметром (стороной квадрата сечения) 30 мм из сталей 38X2Ю и 38X2МЮА, 15 мм из стали 18X2H4 МА.

2.10. Средняя скорость азотирования в зависимости от температуры и глубины слоя

Глубина слоя, мм	Скорость азотирования, мм/ч, при температуре, °C		
	500	550	600
До 0,2	0,020	0,040	—
0,2—0,4	0,015	0,030	0,06
0,4—0,6	0,010	0,020	0,03
0,6—0,8	—	0,015	0,02

2.11. Режимы азотирования деталей из конструкционных сталей

Марка	Температура азотирования, °C	Выдержка, ч	Глубина слоя, мм	Твердость азотированного слоя HV
38X2MIOA	500—520	48—60	0,40—0,50	1000—1100
	510 — 1-я ступень 550 — 2-я »	15 25	0,5—0,6	850—1000
	510 — 1-я » 540 — 2-я »	20 40	0,6—0,7	850—950
	540	40	0,5—0,6	900—1000
40XH2MA	500—520	50—60	0,5—0,6	640—700
	510 — 1-я » 540 — 2-я »	25 35	0,6—0,7	≥640
30X3MФ	500—525	60—80	0,35—0,55	750—800
		30—35	0,2—0,3	900—1000
	560	24	0,5	900—950
30XH2MФА	510 — 1-я ступень 540 — 2-я »	25 30	0,6—0,7	≥700
38XH3MФА				≥700
38XH3MФА	500—520	50—60	0,5—0,6	640—700
38X2H2MA				640—700
40X		25—30	0,2—0,3	500—610
40XФА				610—700
18X2H4MA	490—510	40—50	0,35—0,40	750—850
18XГТ			0,4—0,5	630—720

2.12. Последовательность операций при ионном азотировании

Операция ¹	Давление, Па	Напряжение, В	Продолжительность, ч	Примечание
1. Дополнительная очистка поверхности микродугами	1,33—66,6	Начальное 200—250; в конце операции 850—1000	0,5—4	Температура в конце операции 200—250 °С
2. Катодное распыление металла с поверхности азотируемых деталей	13,3—133,3	850—1000	0,25—0,8	Температура операции 300—400 °С; в конце операции — на 30—50 °С ниже температуры азотирования
3. Выход на заданную температуру азотирования	133,3—733,2	500—600	0,25—0,8	—
4. Собственно азотирование (изотермическая выдержка)	599,8—733,2	350—550 (рабочее)	В зависимости от требуемой толщины слоя	Параметры операции приведены в табл. 2.13
5. Охлаждение деталей в камере до 150—200 °С	13,3—66,6	—	1—2	Последующее охлаждение на воздухе

¹ Величина тока при операциях 1—4 зависит от давления, напряжения и массы садки и не должна превышать предельного значения допускаемого инструкцией на эксплуатацию установки ионного азотирования.

2.13. Основные технологические параметры процесса ионного азотирования

Марка стали	Твердость поверхности		Способ газового режима ¹	Температура, °C	Ориентировочная выдержка, ч, для получения слоя толщиной, мм				
	HV	HRC			0,15—0,2	0,2—0,25	0,25—0,3	0,3—0,35	0,35—0,4
38Х2МЮА	900—950	65—68	I, II	550	4—5	5—7	7—9	9—12	15—18
30Х3МФ	700—760	59—62	I	530	4—5	6—8	9—12	15—18	—
			II			5—7	6—8	9—12	15—18
40Х	500—550	48—51	I, II	520	4—5	7—9	9—12	12—15	15—18
40ХФА	510—560	49—52	I	520	4—5	6—8	9—12	15—18	—
			II			6—8	8—10	12—15	15—18
18ХГТ	620—670	55—58	I, II	530	4—5	6—8	9—12	15—18	—
	550—600	51—54	I, II	550	3—4	4—5	6—8	9—12	15—18

¹ I способ — на всем протяжении процесса в камеру подается предварительно диссоциированный аммиак (25 % N+75 % H); II способ — первый период процесса, составляющий его треть (по времени), проводят в диссоциированном аммиаке; второй период выполняют в смеси азота (80—90 %) с аммиаком (10—20 %). Смешение азота с аммиаком осуществляется в диссоциаторе при 600 °C. Полученный газ имеет состав: 70—80 % N и 30—20 % H. Позволяет получать более равномерное распределение слоя; рекомендуется для деталей сложной формы.

2.14. Режимы антикоррозионного азотирования

Группа стали	Азотируемые детали	Режимы азотирования			
		температура, °C	продол- житель- ность, мин	степень диссоциации аммиака, %	охлаждение
Мало- и среднеугле- родистая ¹	Тяги, штыри, болты, вентили, мелкие детали приборов и ап- паратов, резак, детали арма- туры паровых котлов и др.	600±	60—120	35—50	С печью, в воде, в мас- ле или муфеле, вынутом из печи ³
		650	45—90	45—65	
		700	15—30	55—75	
Высокоуглероди- стая и малолегирован- ная	Шестерни, валики, золотники, оси, гайки, болты, штифты и др.	770—850 ⁴	5—10	До 80	В масле или воде в за- висимости от марки ста- ли

¹ Среднеуглеродистые стали перед азотированием обычно подвергают улучшению; температура азотирования не должна превышать 650 °C. ² При повышении температуры продолжительность уменьшается. ³ Для получения вязкого азотированного слоя желательно быстрое охлаждение. ⁴ Температура окончательного нагрева совпадает с температурой закалки стали; азотирование происходит во время нагрева под закалку в процессе выдержки.

2.15. Химический состав¹ рессорно-пружинных сталей (ГОСТ 14959—79)

Марка	Содержание компонентов, % (мас.)				
	C	Si	Mn	Cr	Прочие
Углеродистые стали					
65	0,62—0,7	0,17—0,37	0,5—0,8	Не более 0,25	—
70	0,67—0,75				—
75	0,72—0,8				—
80	0,77—0,85				—
85	0,82—0,9				—
Легированные стали					
60Г	0,57—0,65	0,17—0,37	0,7—1,0	Не более 0,25	—
65Г	0,62—0,7		0,9—1,2		—
70Г	0,67—0,75		—		
55С2	0,52—0,6	1,5—2,0	0,6—0,9	Не более 0,3	—
55С2А	0,53—0,58				—
60С2	0,57—0,65				—
60С2А	0,58—0,63	1,6—2,0			—
70С3А	0,66—0,74	2,4—2,8			—
60С2Г	0,55—0,65	1,8—2,2	0,7—1,0	0,9—1,2	—
50ХГ	0,46—0,54	0,17—0,37			0,9—1,2
50ХГА	0,47—0,52		0,8—1,0	0,95—1,2	—
55ХГР	0,52—0,6		0,9—1,2	0,9—1,2	0,001—0,003 В
50ХФА	0,46—0,54		0,5—0,8	0,8—1,1	0,1—0,2 V
50ХГФА	0,48—0,55		0,8—1,0	0,95—1,2	0,15—0,25 V
55С2ГФ	0,52—0,6	1,5—2,0	0,95—1,25	Не более 0,3	0,1—0,15 V
60С2ХА	0,56—0,64	1,4—1,8	0,4—0,7	0,7—1,0	—
60С2ХФА				0,9—1,2	0,1—0,2 V
65С2ВА	0,61—0,69	1,5—2,0	0,7—1,0	Не более 0,3	0,8—1,2 W
60С2Н2А	0,56—0,64	1,4—1,8	0,4—0,7		1,4—1,7 Ni
70С2ХА	0,65—0,75	1,4—1,7	0,4—0,6	0,2—0,4	—

¹ Содержание серы и фосфора, не более: в качественных сталях — 0,035 %; в высококачественных — 0,025 % каждого; бор вводится по расчету; остаточное его содержание не менее 0,001 %.

ванные низкоуглеродистые (цементуемые) стали. В целях повышения качества слоя и сокращения продолжительности процесса в последние годы широко используют ионное азотирование. Режимы и параметры различных видов азотирования приведены в табл. 2.10—2.14.

Рессорно-пружинные стали. Они предназначены для изготовления упругих элементов общего назначения (пружин, рессор и т. п.). Применяют углеродистые и легированные стали со средним и повышенным содержанием углерода (табл. 2.15, 2.16), которые должны обладать высоким пределом упругости, повышенным пределом выносливости и релаксационной стойкостью. Используют также углеродистые инструментальные стали (см. табл. 2.25).

2.16. Критические точки некоторых рессорно-пружинных сталей, °C

Марка	A_{c1}	A_{c2}	Марка	A_{c1}	A_{c2}
65	727	752	55C2, 55C2A	775	840
70	730	743	60C2, 60C2A	750	820
75		—	50XГ, 50XГA		775
80, 85		—	50XГP		790

Требуемые свойства обеспечиваются термической обработкой, включающей закалку и средний отпуск на троостит (табл. 2.17).

Высокие значения сопротивления малым пластическим деформациям рессорно-пружинные стали получают также после изотермической заковки на нижний бейнит. Сталь с такой структурой кроме высокого предела упругости обладает большим пределом выносливости, достаточными пластичностью и вязкостью. Для повышения упругих свойств часто после изотермической заковки проводят дополнительный отпуск при температурах изотермического превращения (табл. 2.18).

Шарикоподшипниковые стали — высокоуглеродистые стали (табл. 2.19), легированные хромом, кремнием, марганцем, и содержащие минимальное количество вредных примесей.

Рабочие поверхности деталей подшипников (кольца, ролики, шарики) работают в условиях знакопеременных нагрузок, испытывают высокие контактные напряжения и значительное местное истирание

2.17. Термическая обработка изделий из рессорно-пружинных сталей и их механические свойства

Марка стали	Температура, °C¹		Механические свойства²			
	закалки	отпуска	σ_{B^*} МПа	$\sigma_{0,2}$ МПа	δ , %	ψ , %
65	820—840	450—480	981	785	10	35
70	810—830		1030	834	9	30
75	800—820		1079	883		
80				932	8	
85			1128	981		
У9А³	760—790	300—420	—	—	—	—
У10А—У12А³	770—810		—	—	—	—
60Г	820—840	450—480	981	785	8	30
65Г	810—830					
70Г			1030	834	7	25
55С2, 55С2А³	860—880	440—470	1275	1177	6	30
60С2	850—870					25
60С2А	850—870	410—430	1570	1373		20
70С3А	840—860	450—470	1668	1471		25
60С2Г	850—870	450—480	1471	1324		

Марка стали	Температура, °C		Механические свойства ²			
	закалки	отпуска	σ_B^* МПа	$\sigma_{0,2}$ МПа	δ , %	ψ , %
50ХГ, 50ХГА	840—860	450—470	1275	1177	7	35
50ХГР	830—850	440—470				
50ХФА	840—860	460—500		1079	8	
50ХГФА	830—850	450—480	1422	1324	6	25
55С2ГФ	850—870		1570	1373		
60С2ХА	850—870	450—480	1471	1324	6	25
		410—430	1764	1572	5	20
60С2ХФА	860—880	460—480	1668	1471	6	25
		400—430	1860	1666	5	20
65С2ВА	840—860	410—430	1862	1666	5	20
60С2Н2А	850—870	460—480	1471	1324	8	30
		410—430	1715	1570	6	20

¹ Охлаждение при закалке в масле, после отпуска — на воздухе. ² Нормы механических свойств даны по ГОСТ 14959—79 и по данным работы [19].

³ Охлаждение при закалке в воде или масле.

вследствие проскальзывания. Поэтому эти стали должны обладать высокими твердостью, износостойкостью, контактной выносливостью и пределом упругости при сжатии. Последняя характеристика необходима, так как напряжения в зоне контакта не должны вызывать пластических и упругих деформаций, которые приведут к изменению зазоров в подшипниках и существенно снизят их точность.

Режимы термической обработки заготовок и деталей подшипников показаны в табл. 2.20—2.24.

2.18. Режимы изотермической закалки изделий из рессорно-пружинных сталей

Марка стали	Температура, °C		Время изотермической выдержки, мин	Температура отпуска, °C	Твердость, HRC
	закалки	изотермической выдержки ¹			
У10А	790—810	315—335	10	—	43—48
		320—360	15—20	—	40—48
		320—340		310—320	43—48
65, 65Г	810—830	325—350	15—20	—	46—48
				320—340	
65С2ВА	860—880	280—320	30	— 290—310	48—52
60С2А	860—880	290—320	20—30	—	48—52
		310—330	30	300—325	
				280—310	
50ХФА	840—860	320—330	30	—	48—50
		480—560		—	29—36
	850—870	325—335	30—60	300—330	46—48
60С2ХА, 60С2ХФА	860—880	280—310	20	—	≥ 45
				300—325	

¹ Изотермическую выдержку выполняют в соляной или щелочной ванне с последующим охлаждением в теплой воде или на воздухе. Продолжительность отпуска 30—60 мин; охлаждение на воздухе.

2.19. Химический состав подшипниковых сталей (ГОСТ 801—78)

Марка ¹ стали	Содержание компонентов, % (мас.)					S	P
	C	Cr	Si	Mn	не более		
ШХ15	0,95—1,05	1,30—1,65	0,17—0,37	0,2—0,4	0,02	0,027	
ШХ15СГ			0,40—0,65	0,9—1,2			
ШХ4		0,35—0,5	0,15—0,3	0,15—0,3			
ШХ20СГ	0,9—1,0	1,40—1,7	0,55—0,85	1,4—1,7			
ШХ15-ШД ²	0,95—1,05	1,30—1,65	0,20—0,37	0,3—0,5	0,01	0,025	
95Х18 ³	0,9—1,0	17,0—19,0	≤0,8	≤0,8	0,025	0,03	

¹ Буква «Ш» впереди обозначения марки указывает на основное применение стали; цифра, стоящая за буквой «Х» — среднее содержание хрома в десятых долях процента. ² По ГОСТ 21022—75; выплавляется методом двойного переплава, включающего последовательно электрошлаковый (Ш) и вакуумно-дуговой (Д). ³ По ГОСТ 5632—72; применяют для подшипников, работающих в агрессивных средах.

2.20. Термическая обработка заготовок из подшипниковых сталей

Вид обработки	Время нагрева ¹ , ч	Температура, °С	Выдержка, ч	Охлаждение с печью		Твердость НВ
				интервал температур, °С	время, ч	
Стали ШХ15, ШХ15СГ, ШХ20СГ, ШХ15-ШД						
Отжиг	2,0—2,5	790—810	1,5—2,5	800—730 730—680 680—550 ¹	1,5—2,5 3,0—3,5 2,0—3,0	179—217
Отжиг	5,0—6,0	790—810	3,0—4,0	800—600 ¹	5,0—6,5	179—217
Нормализация	—	880—890 ²	0,2—0,5	На воздухе		270—300
		920—950 ³				
Высокий отпуск	—	650—700	1,0—2,0			229—285
Сталь 95Х18						
Отжиг	2—3 ⁴	850—870	5,0—6,0	860—750 750—450 ¹	4—6 1—2	≤269

¹ Дальнейшее охлаждение на воздухе. ² Для подготовки к закалке. ³ Для устранения карбидной сетки. Загрузка в печь при 600 °C.

2.21. Режимы¹ термической обработки колец подшипников

Марка	Толщина стенки коль- ца, мм	Закалка ²	
		температура, °С	выдержка, мин
ШХ15, ШХ15-ШД	3—5	830—850	25—35
	5—8	835—855	35—45
	8—10	840—860	45—55
ШХ15СГ	10—15	820—830	45—55
	15—20	825—835	55—65
	20—25	835—840	60—75
ШХ15СГ ШХ20СГ	25—35	835—845	75—100
	35—45	820—830	110—140
	45—55	830—840	140—170
	55—65	835—845	170—190
ШХ4	10—15	820—840	45—55
	≥ 25	830—850	≥ 75

¹ Отпуск: температура 150—165 °С для ШХ15 и ШХ4, 160—175 °С для ШХ15СГ и ШХ20СГ; охлаждение на воздухе; твердость HRC 61—65. ² Охлаждение при закалке в масле.

2.22. Режимы термической обработки¹ шариков из сталей ШХ15 и ШХ15-ШД

Диаметр шарика, мм	Закалка		
	температура, °С	выдерж- ка, мин	охлаждающая среда
До 3,175	830—840	20—30	Масло (30—60 °С)
3,175—13,494	835—860	30—35	
14,288—23,813	825—860	40—50	3—5 %-ный водно-содо- вый раствор (25—40 °С)
34,925—47,625	840—870	50—60	
50,8	840—860	55—65	
76,2	850—865	65—75	
101,6	860—870	65—75	

Диаметр шарика, мм	Закалка		
	температура, °C	выдержка, мин	охлаждающая среда
127	865—875	75—80	10 %-ный водный раствор NaCl

¹ Отпуск: 150—165 °C, выдержка 1—3 ч, охлаждение на воздухе; твердость HRC 62—66 для шариков диаметром до 45 мм и HRC 60—66 для шариков диаметром свыше 45 мм

2.23. Режимы термической обработки роликов подшипников

Марка стали	Диаметр ролика, мм	Закалка ¹		Отпуск ²	Твер- дость HRC
		темпера- тура, °C	выдержка, мин		
ШХ15, ШХ15-ШД	3—5	835—845	25—30	150—165 °C, 1—2 ч	61—65
	5—10	840—850			
	10—15		30—35		
	15—20	850—870	35—40		
ШХ15СГ	20—30	830—840	40—50	160—175 °C, 2—3 ч	60—64
	30—40	840—850	50—60		
	40—50	850—855	60—70		
ШХ20СГ	50—60	820—830	70—80	160—175 °C, 2—5 ч	60—64
	60—80	830—840	80—90		
	80—90	840—845	90—100		
	90—100	845—850	100—110		

¹ Охлаждение в масле (30—60 °C). ² Охлаждение на воздухе.

2.24. Термическая обработка деталей подшипников из стали 95Х18

Закалка				Отпуск		Твер- дость HRC
температура, °C		выдерж- ка, мин	способ охлаждения	температура, °C	вы- держ- ка, ч	
подо- грева	нагрева					
850	1040— 1060	≥ 4 (из расчета 1,5 мин на 1 мм сечения)	Масло (30—60 °C)	150—160 400—420 ¹	1—3 5	57—61 ≥ 55
850	1050— 1090		Масло (30—60 °C), обработка холодом при —70 °C (1 ч.)	150—160	3	58—62

¹ Для подшипников, работающих при повышенных температурах.

2.3. Инструментальные стали

К ним относят большую группу сталей, используемых для изготовления режущего, измерительного и штампового инструмента. Они должны обладать определенным сочетанием свойств (твердостью, теплостойкостью, прочностью и вязкостью) в зависимости от конкретного назначения.

Теплостойкость — способность стали сохранять высокую твердость, а следовательно, эксплуатационное назначение при нагреве. Твердость и теплостойкость являются важнейшими свойствами инструментальных сталей, характеризующими их сопротивление пластической деформации. Эти свойства достигаются либо только за счет мартенситного превращения при закалке, либо дисперсионным твердением в результате выделения из мартенсита при отпуске дисперсных карбидов легирующих компонентов. Высокая теплостойкость может быть получена только за счет дисперсионного твердения.

Углеродистые и легированные инструментальные стали. Их применяют для изготовления измерительных, режущих и штамповых инструментов, а также технологической оснастки (табл. 2.25). Стали этой группы упрочняются только мартенситным превращением при закалке, после которой проводится низкий отпуск для снятия напряжений. В результате они приобретают высокую твердость, достаточную вязкость, но низкую теплостойкость (до 200—270 °C) и поэтому пригодны лишь для режущих инструментов, работающих с малыми скоростями резания (до 5—8 м/мин) при обработке конструкционных сталей невысокой прочности ($\sigma_b \leq 500\text{—}600$ МПа).

2.25. Химический состав¹ углеродистых и легированных инструментальных сталей для режущего и измерительного инструмента

Марка стали	Содержание компонентов, % (мас.)				
	C	Cr	W	V	прочие ²

Углеродистые стали (ГОСТ 1435—74)

У7, У7А	0,65—0,74	—	—	—	—
У8, У8А	0,75—0,84	—	—	—	—
У9, У9А	0,85—0,94	—	—	—	—
У10, У10А	0,95—1,04	—	—	—	—
У11, У11А	1,05—1,14	—	—	—	—
У12, У12А	1,15—1,24	—	—	—	—
У13, У13А	1,25—1,35	—	—	—	—

Легированные стали (ГОСТ 5950—73)

11ХФ	1,05—1,15	0,4—0,7	—	0,15—0,3	0,4—0,7 Mn
13Х	1,25—1,4		—	—	0,3—0,6 Mn
ХВ4	1,25—1,45		3,5—4,3	0,15—0,3	—
В2Ф	1,05—1,22	0,2—0,4	1,6—2,0	0,2—0,28	0,2—0,5 Mn
Х	0,95—1,1	1,3—1,65	—	—	—
12Х1	1,15—1,25		—	—	0,3—0,6 Mn
9ХС	0,85—0,95	0,95—1,25	—	—	1,2—1,6 Si, 0,3—0,6 Mn

Марка стали	Содержание компонентов, % (мас.)				
	C	Cr	W	V	прочие ²
ХГС	0,95—1,05	1,3—1,65	—	—	0,4—0,7 Si, 0,85—1,25 Mn
ХВГ	0,90—1,05	0,9—1,2	1,2—1,6	—	0,8—1,1 Mn
ХВСГ	0,95—1,05	0,6—1,1	0,5—0,8	0,05—0,15	0,65—1,0 Si, 0,6—0,9 Mn

¹ Содержание серы и фосфора, не более: в углеродистых качественных сталях 0,03 и 0,035 % соответственно, высококачественных — 0,02 и 0,03 % соответственно; в легированных сталях — 0,03 % каждого. ² Содержание кремния и марганца в остальных сталях 0,15—0,35 % каждого.

Углеродистые стали имеют низкую прокаливаемость (см. табл. 2.26) и используются для инструментов менее ответственного назначения и небольшого сечения (напильники, ножовочные полотна, некоторые метчики и др.). Неглубокую прокаливаемость имеют также низколегированные стали 11ХФ, 13Х, ХВ4, В2Ф, содержащие до 0,7 % хрома; они часто применяются для изготовления инструментов, подвергаемых поверхностной (местной) закалке. Глубокопрокаливающиеся легированные стали 9ХС, ХГС, ХВГ и ХВСГ (табл. 2.26) при-

2.26. Прокаливаемость углеродистых и низколегированных инструментальных сталей

Марка стали	Критический диаметр, мм, при закалке в		Марка стали	Критический диаметр, мм, при закалке в	
	воде	масле		воде	масле
У7А, У8А, У9А, У10А, У11А	15—20	4—6	Х	28—54	10—35
У12А, У13А	10—20	4—6	9ХС	42—70	13—35
11ХФ	15—25	7—10	ХВГ	49—90	20—63
13Х	20—35	10—15	ХГС	72—100	46—67

годны для изготовления режущих инструментов большого сечения и более ответственного назначения (метчики, плашки, развертки, некоторые фрезы, протяжки), а стали Х и 12Х1 — для мерительного инструмента (калибры, измерительные плитки и др.).

2.27. Критические точки и режимы предварительной термической обработки заготовок из углеродистых и легированных инструментальных сталей

Марка стали	Критические точки, °C		Температура нагрева, °C	Выдержка, ч	Изотермическая выдержка		Твердость НВ, не более
	A_{c1}	A_{cm} (A_{c2})			температура, °C	продолжительность, ч	

Отжиг (с непрерывным охлаждением)

У7, У7А	725	765	780—800	2—3	—	—	187
У8, У8А	720	—	730—750		—	—	
У9, У9А	730	760	750—780		—	—	192
У10, У10А		800			—	—	197
У11, У11А		810			—	—	207
У12, У12А		820			—	—	
У13, У13А		830			—	—	217

Изотермический отжиг

11XΦ	—	—	750—790	1—2	670—700	2—3	229	
13X	760	780	780—800				241	
XB4	—	—	800—820				600	285
B2Φ	750	800	780—800				710—730	210
X	745	900	770—800				670—710	229
12X1	750	890			790—810	670—720	241	
9XC	770	870						
XГC	755	900						
XBГ	750	940	780—800		670—720	1—2	255	
XBCT	770	785	790—810					2—3

Марка стали	Критические точки, °C		Температура нагрева, °C	Выдержка, ч	Изотермическая выдержка		Твердость НВ, не более
	A_{c1}	A_{cm} (A_{c3})			темпера- тура, °C	продол- житель- ность, ч	
Сфероидизирующий отжиг							
У9, У9А, У10, У10А, У11А,	—	—	730—740	4—6	660—680	4—6	192—217
Циклический ступенчатый отжиг (3—8 циклов)							
У11, У12, У12А, У13, У13А	—	—	750	0,5— 1,0	680—700	0,5— 1,0	192—217
Нормализация							
У10А, У11А, У12А, У13А	—	—	880—900	0,5	—	—	—
ХВГ, ХГС	—	—	950—970	0,5	—	—	—
ХВСГ	—	—	840—860		—	—	—

Сфероидизирующий и циклический ступенчатый отжики (табл. 2.27) проводят для получения зернистого перлита, обеспечивающего при обработке резанием получение малой шероховатости поверхности. Продолжительность выдержки при температурах закалки (табл. 2.28) устанавливают в зависимости от сечения инструмента из расчета 50—70 с/мм при нагреве в печи и 35—40 с/мм при нагреве в соляных ваннах; при отпуске — 1—2 ч плюс 1—1,5 мин на 1 мм сечения крупногабаритного инструмента.

Штамповые стали. Стали для штампов холодного деформирования (табл. 2.29) должны обладать высокой твердостью (HRC 55—62) и достаточной износостойкостью в сочетании с повышенной вязкостью. Для большинства штампов холодного деформирования не требуется высокая теплостойкость, так как температура их разогрева в процессе работы не превышает, как правило, 300—350 °C. Поэтому эти стали упрочняются в основном за счет мартенситного превращения (закалка на первичную твердость). К ним относят износостойкие стали (X12, X12BM, X12M, X12Ф1, X6ВФ.

2.28. Режимы термической обработки инструментов и технологической оснастки из углеродистых и легированных инструментальных сталей

Марка стали	Закалка			Отпуск ¹ , °C	Твердость, HRC
	температура, °C		охлаждающая среда		
	подогрева	нагрева			
У7, У7А	600	800—820	Вода	150—160	61—63
				200—220	57—59
У8, У8А		780—800		150—160	61—63
				200—220	57—59
У9, У9А, У10, У10А		760—780		150—160	62—63
				200—220	58—59
У11, У11А, У12, У12А, У13, У13А				150—160	62—63
				200—250	58—59
11ХФ	600—650	810—830	»	150—170	62—65
		840—860	Масло		
13Х		780—820	Вода		
		810—830	Масло		
ХВ4		830—850	»	140—170	62—67
		820—840	Вода		
Х	650	840—860	Масло	130—150	62—65
				170—210	58—60
9ХС	650—700			180—250	58—62
ХГС	650	820—860	Масло или 10 %-ный водный раствор NaCl	150—160	61—63
12Х1	650—700	850—870	Масло	120—130	62—65
ХВГ		830—870		150—200	62—63
				200—300	62—58
ХВСГ		840—860		140—160	60—62

¹ Охлаждение после отпуска на воздухе.

2.29. Химический состав¹ штамповых сталей для деформирования в холодном состоянии (ГОСТ 5950—73)

Марка	Содержание компонентов, % (мас.)					
	C	Cr	W	V	Mo	прочие*
X12	2,0—2,20	11,5—13,0	—	—	—	—
X12BM	2,0—2,20	11,0—12,5	0,5—0,8	0,15—0,3	0,6—0,9	0,2—0,4 Si
X12M	1,45—1,65	11,0—12,5	—	0,15—0,3	0,4—0,6	—
X12Φ1	1,25—1,45	11,0—12,5	—	0,7—0,9	—	—
9X5BΦ	0,85—1,00	4,5—5,5	0,8—1,2	0,15—0,3	—	—
9XBΓ	0,85—0,95	0,5—0,8	0,5—0,8	—	—	0,9—1,2 Mn
9X1	0,8—0,95	1,4—1,7	—	—	—	0,25—0,45 Si
8X6HΦT	0,8—0,9	5,0—6,0	—	0,3—0,5	—	0,9—1,3 Ni
						0,05—0,15 Ti
8X4B3M3Φ2	0,75—0,85	3,5—4,5	2,5—3,2	1,9—2,5	2,5—3,0	—
7XΓ2BM	0,68—0,76	1,5—1,8	0,5—0,9	0,1—0,25	0,5—0,8	0,2—0,4 Si
						1,8—2,3 Mn
6X6B3MΦC	0,5—0,6	5,5—6,5	2,5—3,2	0,5—0,8	0,6—0,9	0,6—0,9 Si
6XBΓ	0,55—0,7	0,5—0,8	0,5—0,8	—	—	0,9—1,2 Mn
6X3MΦC	0,55—0,62	2,6—3,3	—	0,3—0,6	0,2—0,5	0,35—0,65 Si
						0,2—0,6 Mn
X6BΦ	1,05—1,15	5,5—6,5	1,1—1,5	0,5—0,8	—	—

¹ Содержание серы и фосфора не более 0,030 % каждого. * В остальных сталях содержание кремния 0,15—0,35 %, марганца — 0,15—0,40 %.

8Х6НФТ и др.) и стали высокой вязкости (7ХГ2ВМ, 6Х3МФС и др.).

Для тяжело нагруженных штамповых инструментов, например пуансонов холодного выдавливания и прессования, работающих при больших давлениях, но малых динамических нагрузках, применяют стали, упрочняемые дисперсионным твердением после мартенситного превращения (термическая обработка на вторичную твердость). Такие стали (8Х4В3М3Ф2, 6Х6В3МФС) получают в результате дисперсионного твердения повышенную теплостойкость при малом снижении ударной вязкости.

Критические точки сталей, режимы термической обработки заготовок и деталей штампов холодного деформирования приведены в 2.30. Режимы отжига заготовок из штамповых сталей для холодного деформирования и критические точки сталей

Марка стали	Критические точки, °C		Отжиг ¹			Твердость НВ, не более
			температура нагрева, °C	изотермическая выдержка		
Ac ₁	Ac _m (Ac ₃)			температура, °C	продолжительность, ч	
X12	810	835	830—850	720—740	3—4	255
X12BM	815	—				
X12M	830	855				
X12Φ1	810	860	850—870	700—720		
X6BΦ	815	845	830—850	670—720	2—3	241
9X5BΦ	815	830	820—840			
9XBΓ	750	900	780—800			
9X1	730	860	800—820	670—680		229
8X6HΦT		790		680—690		241
8X4B3M3Φ2	865	895	840—860	720	3—4	
7XΓ2BM	765	825	770—790	—	2—3	255
6X6B3MΦC	875	905	860—880	760—780		
6XBΓ	780	795	800—820	—	1—2	217
6X3MΦC	760—790	950—975		—		271

¹ Охлаждение со скоростью 40—50 °С/ч до 550 °С, далее — на воздух.

2.31. Режимы термической обработки деталей штампового инструмента холодного деформирования

Марка стали	Закалка			Температура отпуска ¹ , °C	Твердость HRC	
	температура, °C		охлаждающая среда			
	подогрева	нагрева				
X12	650—700	950—980	Масло	180—200	60—62	
					320—350	56—58
X12BM		1000—1030		180—200	60—62	
				350—400	57—59	
X12M			Масло, селитра	190—210	60—62	
				320—350	57—58	
X12Φ1		180—200		60—62		
		400—420		56—58		
X6BΦ		150—170		62—63		
		280—300		56—58		
9X5BΦ		950—1000	Масло	280—300	57—58	
				400—420	54—56	
9XBГ	650	820—840		160—180	≥ 61	
				170—230	62—60	
				230—270	56—60	
				160—180	59—61	
9X1	600—650	820—850			280—300	56—57
8X6HΦT	650—700	950—1000			400—420	54—56
8X4B3M3Φ2	860—880	1150—1175			550—560 (3-кратный по 1 ч)	60—61
7XГ2BM	650—700	850—860		Масло, воздух	140—160	59—60
					180—200	57—58
6X6B3MΦC	800—850	1050—1070		Селитра, масло	540—560 (1-й отпуск), 480—500 (2-й отпуск)	58—60
6XBГ	700—750	850—900	Масло	200—250	53—56	
				400—480	44—47	
6X3MΦC		980—1020		180—200	57—59	

¹ Охлаждение после отпуска на воздухе.

табл. 2.30, 2.31. Выдержку при температурах закалки устанавливают так же, как и для инструмента из углеродистых и легированных сталей (см. 78 стр.); при низком и среднем отпусках ($\leq 450^\circ\text{C}$), применяемых для сталей, которые закалывают на первичную твердость, — 1,5—2,5 ч. При проведении термической обработки на вторичную твердость выполняют двух-четырёхкратный отпуск с выдержкой по 1—1,5 ч.

Стали для штампов горячего деформирования должны обладать твердостью HRC 40—55 при различном сочетании теплостойкости и вязкости в зависимости от конкретных условий эксплуатации горячих штампов и форм литья под давлением. Требуемый уровень свойств достигается выбором соответствующей марки стали и режимов термической обработки (табл. 2.32 и 2.33).

Полутеплостойкие стали, упрочняемые мартенситным превращением (5ХНМ, 5ХНВ, 5ХГМ и др.), обладают высокой ударной вязкостью в прокате большого сечения и сохраняют необходимую твердость (HRC 45) после нагрева до $400\text{—}450^\circ\text{C}$ благодаря замедленному распаду легированного мартенсита при отпуске. Предназначены в основном для крупных (молотовых) штампов.

Стали, упрочняемые дисперсионным твердением после мартенситного превращения, обладают значительно большей теплостойкостью. По уровню свойств их подразделяют на две группы:

стали обычной теплостойкости и повышенной вязкости (4Х5В2ФС, 4Х5МФС, 4Х5МФ1С, 4Х4ВМФС, 3Х3МЗФ и др.), применяемые для штамповки с нагревом инструмента до $600\text{—}650^\circ\text{C}$;

стали повышенной теплостойкости (3Х2В8Ф, 5Х3В3МФС и др.), используемые при повышенных температурах ($700\text{—}750^\circ\text{C}$) и давлениях, но при небольших динамических нагрузках для деформирования труднообрабатываемых материалов.

Продолжительность нагрева в соляных ваннах под закалку назначают из расчета на 1 мм толщины инструмента: при подогреве ($700\text{—}750^\circ\text{C}$) и окончательном нагреве ($800\text{—}950^\circ\text{C}$) — 18—24 с; при $1000\text{—}1150^\circ\text{C}$ для сталей с суммарным содержанием вольфрама, молибдена и ванадия до 1,5 % — 15—20 с; 1,5—3 % — 20—30 с, более 3 % — 30—50 с. При нагреве в печах выдержку без учета прогрева садки устанавливают из расчета 50—70 с/мм.

Продолжительность выдержки при отпуске рекомендуется назначать из расчета 2 ч плюс 1,5 мин на 1 мм толщины при загрузке штампов в один ряд.

Быстрорежущие стали. Их применяют (табл. 2.34) для изготовления режущих инструментов, работающих в условиях высоких температур разогрева режущих поверхностей, повышенных подач и небольших динамических нагрузок. Быстрорежущие стали упрочняются за счет дисперсионного твердения при отпуске после закалки на мартенсит; обладают высокими теплостойкостью, твердостью и проч-

ностью (при изгибе). Различают стали обычной теплостойкости (производительности), предназначенные для обработки конструкционных сталей и сплавов с прочностью $\sigma_b \leq 1000$ МПа (Р6М5, Р18, Р12 и др.); высокой теплостойкости (производительности), которые используют для обработки конструкционных сталей и сплавов с $\sigma_b > 1000$ МПа, нержавеющей, жаропрочных и других труднообрабатываемых материалов (Р6М5К5, Р12Ф3, Р12Ф4К5, Р9М4К8 и др.).

Низколегированную быстрорежущую сталь ПРЗАМЗФ2 применяют для обработки отожженных конструкционных сталей с $\sigma_b \leq 600$ —700 МПа и цветных металлов и сплавов.

Отжиг с непрерывным охлаждением и изотермический являются основными видами термической обработки заготовок (табл. 2.35) послековки, штамповки, прокатки и сварки. Общая продолжительность отжига 18—24 ч. Низкий отжиг применяют, если пластическая деформация и сварка производились при относительно низких температурах, коротких выдержках (сварка трением); ускоренный изотермический — перед повторной закалкой инструмента, не получившего в результате термической обработки необходимых свойств; циклический бесступенчатый — с целью ускорения процесса отжига небольших заготовок или неправильно термически обработанного инструмента; карбидный отпуск — для улучшения обрабатываемости перед холодной пластической деформацией (например, холодной вырубкой заготовок из листа или полосы).

Закалка инструмента (табл. 2.36), как правило, ступенчатая. Нагрев под закалку проводят с подогревом, чтобы предупредить возникновение напряжений, деформаций и трещин. В зависимости от сложности инструмента выполняют один подогрев при 800—850 °С или два-три (в различных средах) при 300—500, 800—850, 1050—1100 °С. Выдержку при каждом подогреве устанавливают исходя из выдержки окончательного нагрева в отношении 3 : 1, 2 : 1 и 1 : 1 соответственно. Температуру закалки (окончательного нагрева) выбирают так, чтобы обеспечить:

растворение достаточного количества карбидов для получения при охлаждении мартенсита с высокой концентрацией углерода и легирующих компонентов;

сохранение мелкого зерна аустенита (обычно № 10) для предупреждения снижения прочности и вязкости. Выдержку при температуре закалки определяют по специальным номограммам (см. рис. 8.3) или назначают из расчета 8—12 с на 1 мм диаметра или наименьшей толщины инструмента (при нагреве в соляных ваннах). Для инструмента небольшого сечения (<1—3 мм) эта норма больше, а для крупных (>50 мм) — меньше.

Отпуск (двух- и трехкратный) производят при ~560 °С по часу. Для ускорения процесса применяют также отпуск при более высоких температурах с меньшими выдержками (см. табл. 2.36). При от-

2.52. Химический состав¹ штамповых сталей для деформирования в горячем состоянии (ГОСТ 5950—73)

Марка	Содержание компонентов, % (мас.)					
	C	Cr	W	V	Mo	прочие
7X3	0,65—0,75	3,2—3,8	—	—	—	—
8X3	0,75—0,85		—	—	—	—
5XHM	0,5—0,6	0,5—0,8	—	—	0,15—0,3	0,5—0,8 Mn 1,4—1,8 Ni
5XHB			0,4—0,7	—	—	
5XHBC		1,3—1,6	0,4—0,7	—	—	0,6—0,9 Si 0,8—1,2 Ni
5XГМ		0,6—0,9	—	—	0,15—0,3	1,2—1,6 Mn
4XМФC	0,37—0,45	1,5—1,8	—	0,3—0,5	0,9—1,2	0,5—0,8 Si 0,5—0,8 Mn
4X5B2ФC	0,35—0,45	4,5—5,5	1,6—2,2	0,6—0,9	—	0,8—1,2 Si
4X5MФC	0,32—0,4		—	0,3—0,5	1,2—1,5	
4X5MФ1C	0,37—0,44		—	0,8—1,1		
4X3BMФ	0,4—0,48	2,8—3,5	0,6—1,0	0,6—0,9	0,4—0,6	0,6—0,9 Si
4X4BMФC	0,37—0,44	3,2—4,0	0,8—1,2		1,2—1,5	0,6—1,0 Si
3X3M3Ф	0,27—0,34	2,8—3,5	—	0,4—0,6	2,5—3,0	—
3X2B8Ф	0,3—0,4	2,2—2,7	7,5—8,5	0,2—0,5	—	—
4X2B5MФ		2,2—3,0	4,5—5,5	0,6—0,9	0,6—0,9	—
4X2B2MФC	0,42—0,5	2,0—2,5	1,8—2,4	0,6—0,9	0,8—1,1	—
5X3B3MФC	0,45—0,52	2,5—3,2	3,0—3,6	1,5—1,8	0,8—1,1	0,5—0,8 Si 0,05—0,15 Nb
3X2MHФ	0,27—0,33	2,0—2,5	—	0,25—0,4	0,4—0,6	1,2—1,6 Ni

¹ Содержание серы и фосфора не более 0,030 % каждого.

2.33. Режимы отжига заготовок и термической обработки деталей штампового инструмента из сталей горячего деформирования

Марка стали	Критические точки, °C		Отжиг ¹		Твердость НВ, не более	Термическая обработка ² деталей штампового инструмента		Твердость HRC
			температура, °C			закалка ³ , °C	отпуск, °C	
	Ac ₁	Ac ₃	нагрева	изотермической выдержки				
7X3	770	850	800—820	—	229	850—880	480—520	38—42
8X3	765	830	790—810	—	241	820—850	480—550	41—46
5XHM	730	780	760—790	—		840—860	500—550	38—41
				400—480			42—46	
5XHB				—			255	530—550
				400—520	42—46			
5XHBC	760	800	780—820	—	800—880	560—600	38—40	
						480—540	41—47	
5XГМ	720	775	750—780	—	241	820—850	480—540	38—41
							410—440	42—46
4XMΦC	760	805	810—830	670—700	217	910—930	580—600	38—42
							550—570	43—46
4X5B2ΦC	800	875	840—880	680—690	241	1030—1050	560—580	47—49
4X5MΦC	840	870	860—880	680—700		1000—1020	530—560	
4X5MΦ1C	870	920	880—890			1020—1040	560—580	47—50
4X3BMΦ	800	850	830—860	650—670		1040—1060		47—49
4X4BMΦC	830	910	860—880	660—680		1050—1070	620—630	47—50
3X3M3Φ	815	875	850—870			1030—1050	580—600	47—48
3X2B8Φ	800	850	840—860	670—700		1070—1100	600—620	42—48
							630—660	39—42
							1120—1160	640—660
4X2B5MΦ	820	840	850—870	680—700		1050—1080	630—660	42—46
4X2B2MΦC	805		830—850	670—690		1080—1100	650—670	
5X3B3MΦC	790	910	840—880	690—710		1120—1150	660—680	
3X2MHΦ	770	800	800—820	660—680	229	930—950	550—570	40—42

¹ При отжиге продолжительность выдержки 1—3 ч, охлаждение со скоростью 40—50 °C/ч до температуры 550—600 °C; далее — на воздухе. ² Охлаждение при закалке в масле, после отпуска — на воздухе. ³ Предварительный подогрев при 700—750 °C.

2.34. Химический состав¹ быстрорежущих сталей (ГОСТ 19265—73)

Марка ²	Содержание компонентов, % (мас.)					
	C	W	Mo	Cr	V	прочие
P18	0,73—0,83	17,0—18,5	≤1,0	3,8—4,4	1,0—1,4	—
P12	0,8—0,9	12,0—13,0		3,1—3,6	1,5—1,9	—
P9	0,85—0,95	8,5—9,5		3,8—4,4	2,3—2,7	—
P6M5	0,82—0,90	5,5—6,5	4,8—5,3		1,7—2,1	—
P6AM5						0,05—0,1 N
11P3AM3Φ2	1,02—1,12	2,5—3,3	2,5—3,0	3,8—4,3	2,3—2,7	0,05—0,1 N 0,05—0,2 Nb
11M5Φ ³ (ЭП -980)	1,03—1,10	—	5,0—5,6	3,8—4,2	1,3—1,7	0,15—0,3 Ce
P6M5Φ3	0,95—1,05	5,7—6,7	4,8—5,3	3,8—4,3	2,3—2,7	—
P6AM5Φ3						0,05—0,1 N
P12Φ3		12,0—13,0	1,0		2,5—3,0	—
P18K5Φ2	0,85—0,95	17—18,5		3,8—4,4	1,8—2,2	5,0—6,0 Co
P12Φ4K5 ⁴ (ЭП 600)	1,25—1,4	12,5—14,0		3,5—4,0	3,2—3,8	
P9K5	0,9—1,0	9,0—10,0		3,8—4,4	2,3—2,7	
P6M5K5	0,84—0,92	5,7—6,7	4,8—5,3		1,7—2,1	4,7—5,2 Co
P9M4K8	1,0—1,1	8,5—9,5	3,8—4,3	3,0—3,6	2,3—2,7	7,5—8,5 Co

¹ Содержание примесей в сталях, не более: 0,5 % марганца и кремния каждого; 0,025—0,03 % серы; 0,03 % фосфора; 0,4 % никеля.
² Цифра после буквы «Р» соответствует среднему содержанию вольфрама в процентах; цифра, стоящая впереди обозначения марки, указывает среднее содержание углерода в десятых долях процента; содержание углерода до 1 %, хрома до 4 % и ванадия до 2 % в марке, как правило, не обозначается. ³ По ТУ 14-1-2678—79; ⁴ По ТУ 14-1-404—72.

2.35. Виды и режимы предварительной термической обработки заготовок из быстрорежущих сталей

Вид термической обработки	Марка	Температура нагрева, °С	Выдержка, ч	Изотермическая выдержка		Скорость охлаждения, °С/ч
				температура, °С	продолжительность, ч	
Отжиг (с непрерывным охлаждением)	P18, P12, P9, P6M5, P6AM5, 11P3AM3Φ2, 11M5Φ	850—870	2—3	—	—	≤30
	P6M5Φ3, P6AM5Φ3, P12Φ3, P9K5, P6M5K5, P12Φ4K5, P18K5Φ2, P9M4K8	860—880	2—3	—	—	≤25
Изотермический отжиг	P18, P12, P9, P6M5, P6AM5, 11P3AM3Φ2, 11M5Φ	850—870	1—2	730—750	4—6	≤30
	P6M5Φ3, P6AM5Φ3, P12Φ3, P9K5, P6M5K5, P12Φ4K5, P18K5Φ2, P9M4K8	860—880	1—2	740—750	6—8	≤25
Изотермический отжиг ускоренный ¹	Все марки	860—880	0,5	740—750	0,5	На воздухе
Низкий отжиг (релаксационный)	P18, P12, P9, 11M5Φ, 11P3AM3Φ2, P6M5, P6AM5, P12Φ3	730—750	2—3	—	—	≤30
Циклический (3—8 циклов) бесступенчатый отжиг ¹	Все марки	880—890	—	670—680	—	≤50
Рекристаллизационный отжиг	То же	650—700	1—2	—	—	С печью
		760—780 ¹	0,25—0,5	—	—	На воздухе
Карбидный отпуск	»	720—760	1—1,5	—	—	В масле

¹ В соляных ваннах.

2.36. Режимы термической обработки режущих инструментов из быстрорежущих сталей

Марка	Температура закалки ¹ , °C	Отпуск ²			Свойства ³			
		температу- ра, °C	выдержка, мин	кратность	твёрдость HRC	теплостой- кость ⁴ , °C	$\sigma_{изг}$, МПа	КС, МДж/м ²
					не менее			
P18	1270—1290	550—570	60	3	62	620	2800—3200	0,27—0,33
		580	30	2				
		600	10—15					
P12	1240—1260	550—570	60	3			2850—3250	0,27—0,33
		580	30	2				
		600	10—15					
P9	1220—1240	550—570	60	3			2950—3350	0,18—0,22
		580	30	2				
		600	10—15					
P6M5, P6AM5	1210—1230	540—560	60	2—3	63	3150—3550	0,31—0,39	
		580	20	2				
11P3AM3Ф2	1190—1210	540—560	60	3	64	625	—	—
11M5Ф	1140—1180	560—570		2—3			3500—3700	0,43—0,47
P6M5Ф3, P6AM5Ф3	1210—1230	540—560		2			63	630
		580	20					
P12Ф3	1240—1260	550—570	60	3	63	640	2800—3200	0,22—0,28
P18K5Ф2	1270—1290	560—580		2			62	1800—2200
		600						
P12Ф4K5	1240—1260	550—570		3	64	630	2250—2600	—
P9K5	1220—1240	560—580		2—3	63		2300—2700	0,18—0,22
		600			62			
P6M5K5	1210—1240	540—560		64	630	2850—3150	0,22—0,27	
P9M4K8	1210—1240	540—560				2300—2800	0,14—0,17	

¹ Нагрев выполняется в расплавленных солях (в ваннах) или вакууме (в печах); охлаждение в масле или горячих средах. ² Охлаждение на воздухе. ³ Нормы твердости, теплостойкости, прочности ($\sigma_{изг}$) и ударной вязкости (КС) — по ГОСТ 19265—73 и ГСССД 9—79; прочность и ударная вязкость приведены для проката диаметром 10—35 мм. ⁴ Теплостойкость (красностойкость Кр 58) оценивается температурой четырехчасового нагрева термически обработанной стали, сохраняющего твердость не менее HRC 58.

пуске происходит дисперсионное твердение, обеспечивающее высокие вторичную твердость и теплостойкость; снятие напряжений, возникающих при закалке; превращение остаточного аустенита в мартенсит (достигается лишь двух- и трехкратным отпуском).

Для повышения твердости, износостойкости, коррозионной стойкости поверхностного слоя инструменты из быстрорежущих сталей подвергают цинкированию, азотированию, сульфидированию, обработке паром.

2.4. Специальные стали и сплавы

Коррозионностойкие (нержавеющие), жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы. Эти стали и сплавы (табл. 2.37) подразделяют на группы в зависимости от их основных эксплуатационных свойств:

I — коррозионностойкие (нержавеющие), обладающие стойкостью против электрохимической и химической коррозии (атмосферной, почвенной, щелочной, кислотной, солевой);

II — жаростойкие, обладающие стойкостью против химического разрушения поверхности в газовых средах при температурах выше 500 °С, работающие в ненагруженном или слабонагруженном состоянии;

III — жаропрочные, способные работать в нагруженном состоянии при высоких температурах в течение длительного времени и обладающие при этом достаточной жаростойкостью.

Для этих назначений применяют в основном хромистые и хромоникелевые стали. В зависимости от структуры, получаемой при охлаждении на воздухе, хромистые стали разделяют на классы: мартенситный, мартенситно-ферритный и ферритный; хромоникелевые — на аустенитный, аустенитно-мартенситный и аустенитно-ферритный.

Коррозионная стойкость стали обеспечивается легированием ее компонентами, которые растворяются в железе (Cr, Ni), повышают электрохимический потенциал (Ni, Cr) и образуют (Cr) на поверхности плотные защитные пленки (Cr_2O_3), прочно связанные с основным металлом и прерывающие его контакт с окружающей средой. Сталь должна иметь однофазную структуру и содержать мало углерода, чтобы исключить образование карбидов, выполняющих роль микрогальванопар, ускоряющих процесс коррозии. Сталь становится стойкой к атмосферным условиям, слабым растворам кислот и другим агрессивным средам при введении в нее не менее 12—14 % хрома.

Для повышения коррозионной стойкости и получения требуемых механических свойств изделия из хромистых мартенситных и мартенситно-ферритных сталей (табл. 2.38) подвергают закалке с высоких температур (для растворения карбидов хрома) и отпуску. При этом стали с 0,3—0,4 % С приобретают также высокую твердость (HRC

48—55). Сталь мартенситного класса 40X13 пригодна для изготовления режущего хирургического и бытового инструмента. Бóльшей коррозионной стойкостью, но худшими механическими свойствами обладают ферритные стали, которые используют в отожженном состоянии.

Хромоникелевые аустенитные стали (12X18H9T и др.) имеют более высокую коррозионную стойкость в окислительных средах, в том числе при нагреве, умеренную прочность, низкий предел текучести и хорошую пластичность. Применяют также стали, в которых дорогой никель частично заменен марганцем. Для предупреждения межкристаллитной коррозии в стали вводят титан. Высокая стойкость против коррозии достигается закалкой (для растворения карбидов). Термическая обработка аустенитно-ферритных сталей (12X21H5T) включает закалку, фиксирующую двухфазную структуру (А+Ф), и старение, при котором происходит дисперсионное твердение за счет выделения интерметаллидных фаз, образуемых никелем, титаном и алюминием. Коррозионная стойкость их высокая, так как хром сохраняется в аустените и феррите и, следовательно, образует защитную пленку. Наиболее прочным нержавеющей конструкционным материалом являются аустенитно-мартенситные стали. После сложной термической обработки, включающей закалку, обработку холодом, холодную пластическую деформацию и старение, сталь 09X15H8Ю (см. табл. 2.38) сильно упрочняется за счет дисперсионного твердения при сохранении хрома в твердом растворе, что обеспечивает высокую коррозионную стойкость.

Жаростойкость стали обеспечивается в основном введением в нее хрома, а также кремния (сильхромы) и алюминия. Все эти элементы находятся в твердом растворе и образуют на поверхности в процессе нагрева защитные пленки окислов, что сильно повышает окалиностойкость. Жаростойкость зависит от состава стали и в меньшей степени от ее структуры. Поэтому жаростойкость ферритных и аустенитных сталей при равном количестве хрома практически одинакова.

Для изделий, работающих в сильных агрессивных средах (например, концентрированные кислоты) при повышенных температурах (см. табл. 2.37), используют коррозионностойкие и жаростойкие сплавы на никелевой и железоникелевой основах. Высокие эксплуатационные свойства они получают после закалки (см. табл. 2.38).

Жаропрочные стали и сплавы применяют для многих деталей (котлов, газовых турбин, реактивных двигателей и др.), работающих при высоких температурах. В этих условиях даже при нагрузках, вызывающих напряжение меньше предела текучести, но действующих длительное время, происходит медленное пла-

2.37. Химический состав¹ коррозионностойких, жаростойких и жаропрочных сталей (ГОСТ 5632—72)

Марка	Содержание компонентов, % (мас.)				Группа ²		
	C	Cr	Ni	Прочие	I	II	III
Стали мартенситного класса							
40X13	0,36—0,45	12,0—14,0	—	—	+	—	—
30X13	0,26—0,35		—	—	+	—	—
20X13	0,16—0,25		—	—	++	—	+
40X9C2	0,35—0,45	8,0—10,0	—	2,0—3,0 Si	—	++	+
40X10C2M		9,0—10,5	—	1,9—2,6 Si; 0,7—0,9 Mo	—	++	+
15X11MФ	0,12—0,19	10,0—11,5	—	0,6—0,8 Mo; 0,25—0,4 V	—	—	+
11X11H2B2MФ	0,09—0,13	10,5—12,0	1,5—1,8	1,6—2,0 W; 0,35—0,5 Mo; 0,18—0,3 V	—	—	+
Стали мартенситно-ферритного класса							
12X13	0,09—0,15	12,0—14,0	—	—	++	+	+
14X17H2	0,11—0,17	16,0—18,0	1,5—2,5	—	++	—	+
15X6CЮ	≤0,15	5,5—7,0	—	1,2—1,8 Si; 0,7—1,1 Al	—	+	—
18X12BMБФР	0,15—0,22	11,0—13,0	—	0,4—0,7 W; 0,4—0,6 Mo; 0,2—0,4 Nb; 0,15—0,3 V; ≤0,003 B	—	—	+
Стали ферритного класса							
08X13	≤0,08	12,0—14,0	—	—	+	—	+
12X17	≤0,12	16,0—18,0	—	—	++	+	—
08X17T	≤0,08		—	5·C—0,80 Ti	+	++	—
15X28	≤0,15	27,0—30,0	—	≤1,0 Si	+	++	—
10X13CЮ	0,07—0,12	12,0—14,0	—	1,2—2,0 Si; 1,0—1,8 Al	—	+	—
Стали аустенитно-мартенситного класса							
20X13H4Г9	0,15—0,3	12,0—14,0	3,7—4,7	8,0—10,0 Mn	+	—	—
09X15H8Ю	≤0,09	14,0—16,0	7,0—9,4	0,7—1,3 Al	+	—	—
Стали аустенитно-ферритного класса							
12X21H5T	0,09—0,14	20,0—22,0	4,8—5,8	0,25—0,5 Ti; ≤0,08 Al	+	—	—
20X20H14C2	≤0,20	19,0—22,0	12,0—15,0	2,0—3,0 Si; ≤1,5 Mn	—	+	—
Стали аустенитного класса							
12X18H9T	≤0,12	17,0—19,0	8,0—9,5	5·C—0,8 Ti; ≤2,0 Mn	++	+	+

Марка	Содержание компонентов, % (мас.)				Группа ²		
	C	Cr	Ni	Прочие	I	II	III
08X18H10	≤0,08	17,0—19,0	9,0—11,0	≤2,0 Mn	++	+	—
12X18H12T	≤0,12		11,0—13,0	5·C—0,7 Ti; ≤0,2 Mn	++	+	+
10X14Г14Н4Т	≤0,10	13,0—15,0	2,8—4,5	13,0—15,0 Mn; 5·(C—0,02)—0,6 Ti	+	—	—
20X23H18	≤0,20	22,0—25,0	17,0—20,0	≤1,0 Si; ≤2,0 Mn	—	++	+
36X18H25C2	0,32—0,4	17,0—19,0	23,0—26,0	2,0—3,0 Si; ≤1,5 Mn	—	+	—
09X14H19B2BP	0,07—0,12	13,0—15,0	18,0—20,0	≤2,0 Mn; 2,0—2,8 W; 0,9—1,3 Nb; ≤0,005B; ≤0,02 Ce	—	—	+
45X14H14B2M	0,4—0,5		13,0—15,0	2,0—2,8 W; 0,25—0,4 Mo	—	—	+
40X15H7Г7Ф2МС	0,38—0,47	14,0—16,0	6,0—8,0	0,9—1,4 Si; 6,0—8,0 Mn; 0,65— 0,95 Mo; 1,5—1,9 V	—	—	+
10X11H20T3P	≤0,10	10,0—12,5	18,0—21,0	≤1,0 Si ≤1,0 Mn; 2,6—3,2 Ti ≤0,8 Al; ≤0,02 B	—	—	+
10X11H23T3MP	≤0,10		21,0—25,0	2,6—3,2 Ti; 1,0—1,6 Mo; ≤0,8 Al; ≤0,02 B	—	—	+

Сплавы на железоникелевой основе³

XH35BTЮ	≤0,08	14,0—16,0	33,0—37,0	2,8—3,5 W; 2,4—3,2 Ti; 0,7—1,4 Al; ≤0,02 B	—	—	+
XH38BT	0,06—0,12	20,0—23,0	35,0—39,0	2,8—3,5 W; 0,7—1,2 Ti; ≤0,5 Al; ≤0,05 Ce	—	++	+

Сплавы на никелевой основе³

H70МФВ	≤0,02	≤0,3	Осн.; ≤0,8 Fe	25,0—27,0 Mo; ≤0,15 Ti; 0,1— 0,45 W; 1,4—1,7 V	+	—	—
XH70Ю	≤0,10	26,0—29,0	Осн.; ≤1,0 Fe	2,8—3,5 Al; ≤0,1 Ba; ≤0,03 Ce	—	++	+
XH77ТЮР	≤0,07	19,0—22,0	Осн.; ≤1,0 Fe	2,4—2,8 Ti; 0,6—1,0 Al; ≤0,01 B; ≤0,02 Ce; ≤0,001Pb	—	—	+
XH70ВМТЮ	≤0,12	13,0—16,0	Осн.; ≤5,0 Fe	5,0—7,0 W; 2,0—4,0 Mo; 1,8— 2,3 Ti; 1,7—2,3 Al; ≤0,02 B; ≤0,02 Ce; 0,1—0,5 V	—	—	+
XH55ВМТКЮ	0,04—0,1	9,0—12,0	Осн.; ≤5,0 Fe	4,5—6,5 W; 4,0—6,0 Mo; 1,4— 2,0 Ti; 3,6—4,5 Al; 0,2—0,8 V; 12,0—16,0 Co; ≤0,02 B	—	—	+

¹ Содержание серы и фосфора, не более 0,02 и 0,035 % соответственно в сталях и 0,01 и 0,015 % в сплавах на никелевой основе; содержание кремния и марганца, если не указывается специально, не превышает 0,8 % каждого. ² группы: I — коррозионностойкая; II — жаростойкая; III — жаропрочная; знак «+» обозначает назначение стали; «++» — преимущественное применение. ³ Маркируются только буквенными обозначениями компонентов, за исключением никеля, среднее содержание которого указывают цифрой.

2.38. Режимы термической обработки изделий из коррозионностойких, жаростойких и жаропрочных сталей

Марка	Термическая обработка			Механические свойства				
	Закалка		Отпуск (ста- рение) ¹	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, МДж/м ²
	температура, °C	охлаждающая среда						
не менее								
40X13	1000—1050	Масло	550—600	1140	910	12	32	0,3
30X13			200—300 ³	1650	1400	4	8	—
			550—600	1000	800	9	45	0,5
			200—300 ⁴	1600	1300	3	4	—
20X13		Масло или воздух	660—770	660	450	16	55	0,8
40X9C2		Масло	700—800	900	600	20	55	—
40X10C2M	1100—1150	Вода	750—780	950	750	10	40	3,0
15X11MФ	1030—1100	Масло или воздух	700—740	700	500	16	55	0,6
11X11H2B2MФ	1050	Масло	680—700	—	—	—	—	—
12X13	1000—1050		680—780	600	420	20	60	0,9
14X17H2	975—1040		275—350	1200	850	10	30	0,5
			540—580	1200	900	8	62	1,5
15X6CЮ	—	—	750—800 ²	450	250	20	40	—
18X12BMBФP	1050—1150	Масло	650—700	750	500	12	45	0,4
08X13	—	—	760—800 ²	400	—	20	—	—
	1000—1050	Масло	700—800	600	420		60	1,0
12X17	—	—	760—780 ²	400	250		50	0,8
08X17T	—	—		500	300		45	—
15X28	—	—		720—770 ²				450
10X13CЮ	—	—	800—850 ²	500	350	15	60	—
	1000—1050	Масло	700—800	950	—	—	—	0,3
20X13H4Г9	1050—1100	Вода или воздух	—	700	350	45	55	≤2,5
09X15H8Ю	1040—1080	Воздух	—	≤1100	—	20	—	—
	1. 925—975	»						
	2. Обработка холодом —70 °C		350—380	1200	900	10	45	0,4

Марка	Термическая обработка			Механические свойства				
	Закалка		Отпуск (старение) ¹	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, МДж/м²
	температура, °C	охлаждающая среда						
				не менее				
09X15H8Ю	1. 925—975 2. Обработка холодом —70 °C 3. Холодная прокатка 25 %	Воздух	450—490	1900	—	3	—	—
12X21H5T	950—1050	Воздух	—	600	350	20	40	—
			490—510	950	—	10	—	—
20X20H14C2	1000—1150	Воздух или вода	—	600	300	35	30	—
12X18H9T	1050—1100	Вода, масло или воздух	—	550	200	40	55	≥2,5
08X18H10			—	480				—
12X18H12T			—	550				—
10X14Г14H4T			—	700	300	35	50	—
20X23H18	1100—1150		—	580				—
36X18H25C2			—	650	350	25	40	—
09X14H19B2BP	1140—1180	Воздух	—	520	220	35	50	—
45X14H14B2M	1150—1190	Вода или воздух	750	790	390	37	49	1,0
40X15H7Г7Ф2MC	1100—1180		800	950	480	30	28	0,4
10X11H20T3P	1100—1170	Воздух или масло	740—760	850	500	10	15	0,3
10X11H23T3MP	1170—1200	Воздух	740—760	900	550	8	10	0,3
ХН35ВТЮ	1100—1150		750	1190	—	17	—	—
ХН38ВГ			—	700	—	50	—	—
Н70МФВ	1050—1100	Вода	—	≥ 800	≥ 370	≥ 40	—	—
ХН77ТЮР	1070—1100	Воздух	750	1020	—	27	—	—
ХН70ВМТЮ	1. 1170—1200 2. 1010—1050		800	1030	710	18	10	0,2
ХН55ВМТКЮ	1. 1190—1220 2. 1020—1050		850	—	—	—	—	—
ХН70Ю	1100—1200		—	750	—	30	—	—

¹ Охлаждение после отпуска (старения) на воздухе. ² Отжиг. ³ Обеспечивает твердость HRC 48—50. ⁴ Обеспечивает твердость HRC 50—55.

стическое деформирование изделия (ползучесть), которое приводит к разрушению.

Поскольку пластическая деформация вызывает наклеп, повышающий сопротивление материала дальнейшему деформированию, то жаропрочность сильно зависит от температуры рекристаллизации: $T_{рек} = \alpha T_{пл}$, где $\alpha = 0,2 \div 0,4$ для чистых металлов и $\alpha = 0,6 \div 0,8$ для твердых растворов. В связи с этим в качестве жаропрочных материалов должны выбираться твердые растворы или твердые растворы, способные к упрочнению за счет дисперсионного твердения в результате выделения дисперсных карбидных или интерметаллидных фаз.

Жаропрочные стали на основе α -твердого раствора используют при температурах до 550—600 °С. Для получения оптимальной жаропрочности хромистые мартенситные и мартенситно-ферритные стали дополнительно легируют вольфрамом, молибденом и ванадием (см. табл. 2.37), подвергают закалке на мартенсит и отпуску при 700—780 °С, а ферритные — отжигу (см. табл. 2.38).

Для работы при температурах более 600 °С применяют аустенитные стали. Хромоникелевые неупрочняемые (твердые растворы) стали (12X18H9T, X14H19B2BP и др.) подвергают закалке, а стали с карбидным (45X14H14B2M, 40X15H7Г7Ф2МС) и интерметаллидным (10X11H20T3P, 10X11H23T3MP) упрочнением — закалке и старению (см. табл. 2.38). Большой жаропрочностью обладают стали с интерметаллидным упрочнением.

Изделия, работающие при температурах до 800—1000 °С, изготавливают из сплавов на железоникелевой и никелевой (н и м о н и к и) основах. Дополнительное легирование хромом, вольфрамом, молибденом, титаном, алюминием, ванадием, кобальтом, церием и бором значительно повышает их жаропрочность и жаростойкость. Оптимальную жаропрочность они получают после закалки и старения (см. табл. 2.38). В некоторых случаях перед старением выполняют двойную закалку, первую из которых проводят с более высоких температур для укрупнения зерна.

Мартенситностаряющие высокопрочные стали. Их применяют для изготовления ответственных изделий, от которых требуется высокая конструктивная прочность. Это в основном безуглеродистые сплавы железа с никелем (5—20 %), молибденом, кобальтом, титаном, алюминием и другими элементами (табл. 2.39). Они обладают глубокой прокаливаемостью, хорошей свариваемостью, легко деформируются и обрабатываются резанием в закаленном состоянии. При закалке охлаждаются на воздухе, что практически исключает деформации изделий и возникновение трещин. Упрочнение достигается в результате получения структуры мартенсита при закалке и дисперсионного твердения при последующем отпуске (старении) за счет выделения дисперсных интерметаллидов (табл. 2.40).

2.39. Химический состав мартенситностареющих сталей

Марка	Содержание компонентов, % (мас.)						
	C	Ni	Cr (V)	Co (Cu)	Mo	Ti	Al
H18K9M5T (ЭП 637)	≤0,03	17,0—19,0	—	8,5—9,5	4,5—5,5	0,6—0,9	≤0,2
H15K9M5T (ЭП 637Б)		15,0—16,0	—		4,6—5,5	0,5—0,8	
X11H10M2T (ЭП 678)		9,5—10,8	10,5—11,7	—	1,8—2,2	0,6—0,9	
X11H9M2Д2ТЮ (ЭП 832)	0,02—0,07	8,5—10,0	9,5—11,0	2,0—2,3 Cu	1,5—2,2	0,8—1,2	0,8—1,2
H12M2Д2ТЮ (ЭП 844)	0,02—0,05	10,5—12,0	0,2—0,5 V	2,0—2,5 Cu	2,0—3,0		0,7—1,1
X12K10M6H4T (ЭП 927)	≤0,03	4,5—5,5	11,0—12,0	9,3—10,3	5,5—6,5	0,8—1,3	≤0,2
25X12K10M12H (ЭП 928)	0,22—0,27	0,4—0,8	11,0—12,5		11,0—12	—	

2.40. Режимы¹ термической обработки изделий из мартенситностареющих сталей

Марка	Температура закалики, °С	Отпуск (старе- ние)		Механические свойства					
		темпера- тура, °С	выдер- жка, ч	твер- дость, HRC	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	KCU, МДж/м²
H18K9M5T (ЭП 637)	820—850	480—520	3—6	52	2100	1950	8—12	40—60	0,5—0,7
H15K9M5T (ЭП 637Б)	840—860	500	5—6	50—52	2000	1850	10—11	50	0,4—0,5
X11H10M2T (ЭП 678)	860—950	500—550	3—10	—	1600	1550	8		0,5
X11H9M2D2TЮ (ЭП 832)	930—970	500	3	46—50	1800	1700	6	40	
H12M2D2TЮ (ЭП 844)	930—1000			48—51	1850	1750	8		
X12K10M6H4T (ЭП 927)	950	550	10	50—52	1800	1700	6—8	30—40	0,2
25X12M12K10H (ЭП 928)	1080—1100	560—570	6	60	—	—	—	—	0,2—0,3

¹ Охлаждение при закалке и после отпуска на воздухе.

Наиболее широко применяют высокопрочные стали типа Н18К9М5Т. В криогенной технике используют нержавеющие стали с 10—12 % Сг (ЭП 678, ЭП 832 и др.). В последние годы разработаны коррозионно-стойкие мартенситностареющие стали повышенной твердости, предназначенные для хирургических инструментов и микроинструментов (ЭП 927, ЭП 928).

3. ЧУГУНЫ. МАРКИ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

3.1. Особенности термической обработки чугунов

В машиностроении в основном применяют чугуны, в которых весь углерод или часть его находится в виде графита.

По форме графита, образующегося в результате графитизации, различают: серый чугун (излом темно-серый) — с пластинчатым графитом, высокопрочный чугун — с шаровидным графитом, ковкий чугун — с хлопьевидным графитом. В зависимости от степени графитизации, которая зависит от химического состава, условий кристаллизации, скорости охлаждения и термической обработки, может быть получена различная структура металлической основы (матрицы): ферритная, ферритно-перлитная или перлитная (графитизация проходит частично; сохраняется цементит, входящий в состав перлита). Свойства определяются структурой металлической основы и формой графита. Чугуны с графитом хорошо обрабатываются резанием, обладают хорошими антифрикционными свойствами, гасят вибрации и резонансные колебания, нечувствительны к поверхностным дефектам и трещинам. Изделия и заготовки из чугуна изготавливают литьем.

Структура и свойства чугунных отливок формируются в процессе кристаллизации. Термическую обработку выполняют главным образом для завершения распада цементита (графитизации) и снятия внутренних напряжений, которые характерны для всех чугунных отливок (особенно сложной формы). Они возникают из-за неодинаковой скорости охлаждения отдельных ее частей, что приводит к различным объемным изменениям по сечению в результате неодинаковой степени графитизации. Внутренние литейные напряжения вызывают коробление и образование трещин, изменение с течением времени размеров и формы отливок. Поэтому для изделий из чугуна наиболее часто применяют различные виды отжига и старения.

Графитизирующий отжиг используют для получения ковкого чугуна; устранения отбела, снижения твердости и улучшения обрабатываемости резанием отливок из серого и высокопрочного чугунов. Отбеливание — образование белого чугуна в тонких сечениях или поверхностном слое отливок. Слой белого чугуна имеет высокую твердость и плохую обрабатываемость резанием.

Для снятия внутренних напряжений и стабилизации размеров выполняют:

релаксационный отжиг (его часто называют низкотемпературным, стабилизирующим или старением чугуна) при 500—600 °С. Экономичным и эффективным способом является метод термоударов, который состоит в быстром нагреве (до 350—600 °С) и охлаждении всей детали или отдельных ее участков. Возникающие термические напряжения, вызывая временную перегрузку, способствуют релаксации напряжений;

естественное старение, осуществляемое выдержкой отливок в течение 3—15 мес на открытом воздухе или в помещении склада. Обеспечивает уменьшение напряжений на 3—10 %. Для большего снижения напряжений используют вибрационное старение (вибрации и всестороннее отстукивание отливок) и старение с временной статической перегрузкой (например, созданием изгибающих моментов с помощью домкратов). Возникающие в обоих случаях временные напряжения суммируются с остаточными, вызывая местные пластические деформации, более полное протекание релаксационных процессов и, как следствие, снижение напряжений на 10—15 и 10—30 % соответственно.

Для упрочнения чугунных отливок применяют нормализацию и различные разновидности закалки с полиморфным превращением: непрерывную, изотермическую, с обработкой холодом. После закалки отливки подвергают отпуску для снятия напряжений и получения требуемой твердости, износостойкости и прочности.

При термической обработке чугунных деталей скорость нагрева и охлаждения должна гарантировать отсутствие деформаций и трещин. Для изделий большого сечения и сложной конфигурации рекомендуется пониженная скорость нагрева и охлаждения, особенно при температурах 20—550 °С. При более высоких температурах нагревать и охлаждать можно быстрее. Допустимые скорости нагрева и охлаждения обычно устанавливают опытным путем в зависимости от состава и структуры чугуна, сечения и конфигурации изделий, имеющегося оборудования. Продолжительность выдержки выбирается достаточной для завершения необходимых диффузионных процессов и структурных превращений при высоких температурах.

3.2. Серые чугуны

Получают медленным охлаждением отливок. Необходимые структура металлической основы, количество и размеры графитных пластин, определяющих механические свойства серого чугуна, обеспечиваются различной степенью графитизации. Она достигается выбором скорости охлаждения (следовательно, массы отливки) и концентрации кремния (графитизатора), которая изменяется в различных марках (табл. 3.1) от 1 до 2,9 %.

3.1. Марки, химический состав и механические свойства серых чугунов

Марка ¹	Содержание компонентов, % (мас.)					Механические свойства ²		
	C	Si	Mn	P	S	σ_B , МПа	$\sigma_{изг}$, МПа	Твердость HB
				не более				
СЧ 10	3,5—3,7	2,2—2,6	0,5—0,8	0,3	0,15	98	274	143—229
СЧ 15		2,0—2,4		147		314	163—229	
СЧ 18	3,4—3,6	1,9—2,3	0,5—0,7	176		358	170—229	
СЧ 20	3,3—3,5	1,4—2,2	0,7—1,0	0,2		196	392	170—241
СЧ 21						206		
СЧ 24	3,2—3,4					235	421	170—241
СЧ 25						245	451	180—250
СЧ 30	3,0—3,2	1,0—1,3		0,12	294	490	181—255	
СЧ 35	2,9—3,0	1,0—1,1			343	539	197—269	
СЧ 40	2,5—2,7	2,5—2,9	0,2—0,4	0,02	0,02	392	588	207—285
СЧ 45	2,2—2,4					441	637	229—289

¹ СЧ — серый чугун, цифры — предел прочности при растяжении (кгс/мм²). ² Относительное удлинение для всех марок $\leq 0,5$ %.

3.2. Термическая и химико-термическая обработка отливок и изделий из серого чугуна

Вид обработки	Режимы процесса				Назначение
	нагрев	температура, °C	выдержка, ч	охлаждение	
Термическая обработка					
Отжиг релаксационный (стабилизирующий, искусственное старение)	Медленный со скоростью 70—100 °C/ч	500—600	1—8	Медленное с печью (20—50 °C/ч) до 250 °C, далее на воздухе	Снятие напряжений, стабилизация размеров, предупреждение деформаций и трещин при механической обработке и эксплуатации
Естественное старение	Вылеживание на открытом воздухе	~10—20	3—10 мес	—	
Метод термоудара (2—4 цикла)	Ускоренный	350—600	0,2—2	На воздухе; при последнем цикле до 100—150 °C с печью	
Отжиг графитизирующий низкотемпературный	Медленный до 550 °C для сложных изделий	680—750	1—4	Медленное до 250 °C для сложных изделий	Снижение твердости и прочности, улучшение обрабатываемости резанием
Отжиг полный (графитизирующий высокотемпературный)		850—950*	0,5—5,0	Медленное с печью (выдержка при A ₁)	Устранение отбела, снижение твердости, улучшение обрабатываемости и пластичности
Нормализация		850—950	0,5—3,0	На воздухе	Повышение прочности, твердости, износостойкости
Закалка		850—930	0,5—3,0	В воде, масле	Повышение твердости до HB 500—600, износостойкости и прочности
Изотермическая закалка	Ускоренный для простых изделий; медленный до 550 °C— для сложных	830—900	0,2—1,5	В среде с температурой изотермической выдержки 300—400 °C	Повышение твердости до HB 500, износостойкости и прочности
Поверхностная закалка	Быстрый (газовым пламенем, ТВЧ, в электролите)	840—950	6—10 с	В воде, масле и др.	Повышение поверхностной твердости до HRC 55 и износостойкости
Отпуск	Медленный для сложных изделий	150—600	1—3	На воздухе	Снятие термических напряжений, получение требуемой твердости

Вид обработки	Режимы процесса				Назначение
	нагрев	температура, °C	выдерж- ка ¹ , ч	охлаждение	
Химико-термическая обработка					
Азотирование	Медленный	500—580	50—70 ³	С печью	Повышение твердости до HV 600—1000, износостойкости, коррозионной стойкости
Алитирование	Медленный до 500 °C	900—1050	2—6	С печью или на воздухе	Повышение жаростойкости
Хромирование	Медленный	950—1000	10—12 ⁴		Повышение твердости до HV 1600, износостойкости, жаростойкости, коррозионной стойкости
Сульфидирование		550—600	3	На воздухе	Улучшение обрабатываемости, предупреждение задилов

¹ В зависимости от массы и конфигурации изделия, требуемой структуры; при ХТО — глубины насыщаемого слоя. ² При глубоком отбеле — 900—1050 °C. ³ 0,5—1 ч при антикоррозионном азотировании. ⁴ В твердой среде, в газовой — 5 ч.

Наименьшую прочность имеют серые ферритные и ферритно-перлитные чугуны (СЧ 10, СЧ 15), которые используют для менее ответственных отливок с толщиной стенки 10—30 мм, испытывающих небольшие нагрузки при эксплуатации. Более прочные перлитные чугуны (СЧ 18, СЧ 20, СЧ 21 и др.) применяют для более ответственных отливок с толщиной стенки 60—100 мм. Для получения перлитной металлической основы в отливках с различной толщиной стенок серые чугуны (СЧ 30, СЧ 35, СЧ 40, СЧ 45) модифицируют специальными добавками (графит, 75 %-ный ферросилиций, силикокальций в количестве 0,3—0,8 % и др.).

Режимы термической обработки изделий из серого чугуна приведены в табл. 3.2. С повышением температуры и выдержки при релаксационном отжиге более полно снимаются литейные напряжения. Для повышения износостойкости, коррозионной стойкости, жаростойкости и других свойств выполняют также различные виды химико-термической обработки (см. табл. 3.2).

3.3. Высокопрочные чугуны

Получают введением (модифицированием) в расплавленный чугун перед разливкой небольших добавок (0,03—0,07 %) магния или его сплавов. Образующийся при этом шаровидный графит значительно меньше, чем пластинчатый, ослабляет металлическую основу чугуна. Высокопрочные перлитные чугуны (ВЧ 50—7, ВЧ 50—2, ВЧ 60—2, ВЧ 70—2, ВЧ 80—2, ВЧ 100—2, ВЧ 120—2) обладают высокой прочностью (табл. 3.3). Меньшую прочность имеют ферритно-перлитный (ВЧ 45—5) и ферритные (ВЧ 38—17, ВЧ 42—12) чугуны. Для последних при этом характерна достаточно высокая пластичность. Режимы термической обработки отливок и изделий из высокопрочных чугунов приведены в табл. 3.4.

3.4. Ковкие чугуны

Получают предварительно отливки из белого чугуна, которые затем подвергают графитизирующему отжигу, вызывающему распад цементита с образованием хлопьевидного графита. Отжиг заключается в медленном нагреве и длительной выдержке при 950—1000 °С, в процессе которой происходит распад цементита, входящего в состав ледебурита, и частично вторичного цементита (первая стадия графитизации). Затем производят медленное охлаждение и длительную выдержку при 740—720 °С (вторая стадия), которые вызывают диссоциацию вторичного цементита и цементита, входящего в перлит. В результате такого полного графитизирующего отжига получают отливки из ковкого (табл. 3.5) ферритного чугуна (излом бархатисто-черный). При сокращении выдержки второй стадии графити-

3.3. Марки, химический состав и механические свойства высокопрочных чугунов (ГОСТ 7293—79)

Марка ¹	C, % (мас.)			Si, % (мас.)				
	Толщина стенки отливки, мм							
	до 50	50—100	св. 100	до 10	10—30	30—50	50—100	св. 100
ВЧ 38—17	3,3—3,6	3,0—3,3	2,7—3,2	2,4—2,7	1,9—2,2	1,6—1,9	1,3—1,7	0,8—1,5
ВЧ 42—12				2,1—2,7	1,8—2,2	1,5—1,9	1,2—1,7	0,5—1,5
ВЧ 45—5				2,4—2,7	1,9—2,2	1,6—1,9	1,3—1,7	
ВЧ 50—7				2,2—2,7	1,8—2,2	1,5—1,9	1,2—1,7	0,8—1,5
ВЧ 50—2				2,0—2,7	1,7—2,2	1,4—1,9	1,1—1,7	0,6—1,5
ВЧ 60—2				2,4—2,8	2,4—2,8	2,2—2,6	2,2—2,6	—
ВЧ 70—2	—	3,2—3,6	—	—	—	—	2,6—2,9	—
ВЧ 80—2	3,2—3,6	—	—	2,6—2,9	2,6—2,8	2,6—2,9	—	—
ВЧ 100—2	—	—	—	3,4—3,8	3,4—3,8	—	—	—
ВЧ 120—2	—	—	—			—	—	—

Марка чугуна	Mn. % (мас.)	P	S	Cr	Cu	Ni	Механические свойства			
		не болес, % (мас.)					σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	Твердость, НВ
							не менее			
ВЧ 38—17	0,3—0,6	0,1	0,02	—	—	—	373	235	17,0	140—170
ВЧ 42—12				—	—	—	412	274	12,0	140—200
ВЧ 45—5	0,4—0,7			—	—	—	441	333	5,0	160—220
ВЧ 50—7	0,3—0,7			—	—	—	490	343	7,0	171—241
ВЧ 50—2	0,4—0,7			—	—	—	490	343	2,0	180—260
ВЧ 60—2				—	0,3	—	588	393		200—280
ВЧ 70—2			0,015	0,1	0,4	—	686	441		229—300
ВЧ 80—2			0,01		0,6	—	784	490		250—330
ВЧ 100—2					—	0,8	981	686		270—360
ВЧ 120—2					—		1177	882		302—380

¹ ВЧ — высокопрочный чугун; первые цифры — предел прочности при растяжении (кгс/мм²); вторые — относительное удлинение.

3.4. Режимы термической обработки отливок и изделий из высокопрочного чугуна

Термическая обработка	Режимы процесса				Назначение
	нагрев	температура, °С	выдержка, ч	охлаждение	
Отжиг релаксационный (стабилизирующий)	Медленный	500	2—3	Медленное с печью до 200 °С; далее на воздухе	Снятие напряжений на 80—90 %, стабилизация размеров, предупреждение деформаций и трещин
Отжиг ¹ полный (графитизирующий)		900—950	2—5	Медленное с печью	Снижение твердости, устранение отбела, улучшение обрабатываемости резанием
Отжиг изотермический ²		1.900	2	С печью до 740 °С	
		2.740 (изотермическая выдержка)	2—5	С печью до 680 °С; далее на воздухе	
Нормализация		900—950	2—5 ³	На воздухе	Повышение прочности и износостойкости
Закалка	Медленный для сложных изделий до 550 °С и ускоренный для простых	900	0,2—1,5	В масле	Повышение твердости и износостойкости
Изотермическая закалка		850—880	0,5—0,75	В среде с температурой изотермической выдержки 300—350 °С	Значительное повышение прочности, твердости и износостойкости
Поверхностная закалка	Быстрый (газовым пламенем или ТВЧ)	950—1100 (в зависимости от исходной структуры)	6—10 с	В масле	Значительное повышение поверхностной твердости, износостойкости и усталостной прочности
Отпуск	Медленный для сложных изделий	200—600	1—3	На воздухе или с печью	Снятие термических напряжений, получение требуемой твердости

¹ Для разложения структурно-свободного цементита и получения перлитно-ферритной металлической основы. ² То же, и для получения ферритной металлической основы; применяют для всех отливок из чугуна ВЧ 38—17, ВЧ 42—12 и многих из ВЧ 45—5. ³ Более высокие выдержки для одновременной графитизации в случае наличия структурно-свободного цементита.

3.5. Марки, химический состав¹ и механические свойства ковких чугунов

Марка ²	Содержание компонентов, % (мас.)					Механические свойства		
	C	Si	C+Si	Mn	S	σ_B , МПа	δ , %	твёрдость HB
						не менее		
Ферритные и ферритно-перлитные чугуны								
КЧ 30—6	2,6—2,9	1,0—1,6	3,7—4,2	0,4—0,6	0,20	294	6	100—163
КЧ 33—8						323	8	100—163
КЧ 35—10	2,5—2,8	1,1—1,3	3,6—4,0	0,3—0,6	0,20	333	10	100—163
КЧ 37—12	2,4—2,7	1,2—1,4		0,2—0,4	0,06	362	12	110—163
Перлитные чугуны								
КЧ 45—7	2,5—2,8	1,1—1,3	3,6—3,9	0,3—1,0	0,20	441	7	150—207
КЧ 50—5						490	5	170—230
КЧ 55—4						539	4	192—241
КЧ 60—3						588	3	200—269
КЧ 65—3	2,4—2,7	1,2—1,4	3,6—3,9	0,3—1,0	0,06	637	3	212—269
КЧ 70—2						686	2	241—285
КЧ 80—1,5						784	1,5	270—320

¹ Содержание фосфора до 0,10 % — в перлитных чугунах; 0,18 % — в КЧ 30—6 и КЧ 33—8, 0,12 % — в КЧ 35—10 и КЧ 37—12: содержание хрома до 0,6—0,8 %. ² КЧ — высокопрочный чугун; первые цифры — предел прочности при растяжении (кгс/мм²); вторые — относительное удлинение.

3.6. Сводные режимы отжига белого чугуна на ковкий

Продолжитель- ность нагрева, ч	Первая стадия		Продолжитель- ность охлажде- ния до 2-й ста- дии, ч	Вторая стадия		Продолжи- тельность ох- лаждения до 20°C, ч	Общая про- должитель- ность отжига, ч
	температура, °C	выдержка, ч		температура, °C	выдержка, ч		
15—25	Отжиг на ферритный и ферритно-перлитный ковкий чугун					3—20	55—130
	950—1000	12—30	2—15	740—720	20—40		
10—20	Отжиг на перлитный ковкий чугун					3—15	50—100
	950—1000	20—40	15—25 ¹	—	—		

¹ Охлаждение до 680 °C.

3.7. Режимы термической обработки изделий из ковкого чугуна

Термическая обработка	Режимы процесса			Назначение
	температура, °C	выдержка, мин	охлаждающая среда	
Нормализация	820—860	20—40 ¹	Воздух	Повышение твердости, износостойкости и прочности
Закалка	820—930	6—25 ¹	Вода или масло	Повышение твердости до HRC 52—59, износостойкости и прочности
Отпуск ²	150—170	30—60	Воздух	Снятие напряжений и получение твердости: HRC 51—58
	380—400	45—75		HRC 37—43
	530—550	45—90		HRC 24—28
	600—650	30—90		HRC 20—25

¹ В зависимости от размеров детали и марки чугуна. ² Выполняют немедленно после закалки.

зации и ускорении охлаждения чугуна приобретает ферритно-перлитную структуру, а если ее вообще исключить — перлитную (излом светлый).

При отжиге белого чугуна на ковкий (табл. 3.6) полностью снимаются литейные напряжения. Их отсутствие, хлопьевидная форма и изолированность графитных включений обуславливают высокие механические свойства ковких чугунов. Дополнительная термическая обработка отливок для снятия напряжений и стабилизации размеров не требуется. Изделия из ковкого чугуна для повышения твердости, износостойкости и прочности подвергают нормализации или закалке и отпуску (табл. 3.7). Высокий отпуск (600—650 °C) позволяет получить структуру зернистого перлита.

4. ЦВЕТНЫЕ СПЛАВЫ. МАРКИ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

4.1. Особенности термической обработки цветных сплавов

Вид и режимы термической обработки для конкретного сплава определяются характером и температурами превращений, протекающих в твердом состоянии, или, наоборот, отсутствием таких превращений.

Отжиг 1-го рода (гомогенизирующий, рекристаллизационный, дорекристаллизационный и релаксационный) используют для всех цветных сплавов. Термическая обработка сплавов на основе твердых растворов без фазовых превращений (например, однофазные латуни и бронзы) ограничивается только этими разновидностями отжига.

Отжиг 2-го рода используют реже; возможны только для сплавов с переменной, увеличивающейся с повышением температуры, растворимостью компонентов в твердом растворе или сплавов с полиморфным и эвтектоидным превращениями (крайне редкие случаи для цветных сплавов).

Для сплавов с переменной растворимостью выполняют полный или неполный гетерогенизирующие отжики, которые заключаются в нагреве до температур, обеспечивающих полное или неполное растворение вторичных фаз (химические соединения) в твердом растворе, выдержке и медленном охлаждении для осуществления его равновесного распада (выделения из твердого раствора вторичных фаз и их коагуляции). Такой отжиг применяют для всех термически упрочняемых сплавов на алюминиевой, магниевой, медной, никелевой и других основах как смягчающий с целью повышения пластичности перед различными операциями холодной обработки давлением.

Для сплавов с полиморфным или эвтектоидным превращениями

отжиг 2-го рода осуществляют с целью полной фазовой перекристаллизации.

Упрочняющей термической обработке подвергают обычно изделия из стареющих сплавов, для которых характерно повышение растворимости вторичных фаз в твердом растворе при нагреве (дюралюмины, авиаль, бериллиевые бронзы, двухфазные алюминий-медные, медные и магниевые сплавы, никомоны и др.). Для них выполняют закалку без полиморфного превращения, обеспечивающую получение пересыщенного неравновесного твердого раствора. Охлаждение должно производиться со скоростью больше критической, под которой понимается наименьшая скорость охлаждения, исключающая распад твердого раствора. В одних сплавах (дюралюмины) это достигается охлаждением в воде, а в других (на основе алюминия, никеля и магния) — на воздухе. Большого упрочнения после такой закалки обычно не происходит. Одновременно сохраняется, а в некоторых случаях даже возрастает пластичность. Упрочнение достигается при последующем естественном или искусственном старении за счет выделения из пересыщенного твердого раствора мелкодисперсных вторичных фаз, вызывающих дисперсионное твердение. Для цветных сплавов применяют все разновидности искусственного старения.

Закалку с полиморфным превращением используют для цветных сплавов очень редко. Она возможна для двухфазных алюминий-медных бронз и некоторых сплавов титана, в которых при быстром охлаждении высокотемпературная фаза претерпевает мартенситное превращение со всеми характерными для него особенностями. Для снятия напряжений и получения требуемой структуры и заданных свойств после такой закалки проводят отпуск.

Широко применяют термомеханическую обработку. НТМО осуществляют в основном для всех стареющих сплавов; включает обычную закалку, холодную пластическую деформацию и последующее старение. Пластическая деформация вызывает пайп и увеличивает эффект дисперсионного твердения при старении.

При ВТМО проводят горячую деформацию, закалку с деформационного нагрева и старение. Эффективна для сплавов алюминия с магнием и кремнием или с цинком и магнием. Однако дает меньшее упрочнение и менее технологична, чем НТМО. Поэтому к ней прибегают реже, особенно для стареющих сплавов.

ПТМО применяют в производстве полуфабрикатов из алюминиевых сплавов.

Химико-термическую обработку для цветных сплавов используют мало и в основном для титановых сплавов.

4.2. Медные сплавы

Медные сплавы обладают низким коэффициентом трения, высокими механическими и технологическими свойствами, хорошо солпро-

4.1. Химический состав¹ некоторых марок латуней

Марка	Содержание компонентов, % (мас.)						Примеси ²
	Cu	Pb	Mn, Ni	Al	Sn	прочие	
Латуни, обрабатываемые давлением (ГОСТ 15527—70)							
Л96	95,0—97,0	—	—	—	—	—	0,2
Л90	88,0—91,0	—	—	—	—	—	0,2
Л80	79,0—81,0	—	—	—	—	—	0,3
Л70	69,0—72,0	—	—	—	—	—	0,2
Л68	67,0—70,0	—	—	—	—	—	0,3
Л63	62,0—65,0	—	—	—	—	—	0,5
ЛА77-2	76,0—79,0	—	—	1,75—2,5	—	0,07 Fe	0,3
ЛАН59-3-2	57,0—60,0	—	2,0—3,0 Ni	2,5—3,5	—	—	0,9
ЛЖМц59-1-1	57,0—60,0	—	0,5—0,8 Mn	0,1—0,4	0,3—0,7	0,6—1,2 Fe	0,25
ЛН65-5	64,0—67,0	—	5,0—6,5 Ni	—	—	—	0,3
ЛМц58-2	57,0—60,0	—	1,0—2,0 Mn	—	—	0,5 Fe	1,2
ЛО90-1	88,0—91,0	—	—	—	0,2—0,7	—	0,2
ЛО70-1	69,0—71,0	—	—	—	1,0—1,5	0,07 Fe	0,3
ЛО62-1	61,0—63,0	—	—	—	0,7—1,1	—	0,3
ЛО60-1	59,0—61,0	—	—	—	1,0—1,5	—	1,0
ЛС63-3	62,0—65,0	2,4—3,0	—	—	0,10	—	0,25
ЛС74-3	72,0—75,0	2,4—3,0	—	—	—	—	0,25
ЛС64-2	63,0—66,0	1,5—2,0	—	—	—	—	0,3
ЛС60-1	59,0—61,0	0,6—1,0	—	—	0,2	—	0,5
ЛС59-1	57,0—60,0	0,8—1,9	—	—	0,3	—	0,75
ЛК80-3	79,0—81,0	—	—	—	—	2,5—4,0 Si	1,5
Латуни литейные (ГОСТ 17711—80)							
ЛЦ40С	57,0—61,0	0,8—2,0	—	—	—	—	2,0
ЛЦ40Мц1,5	57,0—60,0	—	1,0—2,0 Mn	—	—	—	2,0
ЛЦ40Мц3А	55,0—58,5	—	2,5—3,5 Mn	0,5—1,5	—	—	1,5
ЛЦ30А3	66,0—68,0	—	—	2,0—3,0	—	—	2,6
ЛЦ23А6ЖЗМц2	64—68,0	—	1,5—3,0 Mn	4,0—7,0	—	2,0—4,0 Fe	1,8
ЛЦ16К4	78,0—81,0	—	—	—	—	3,0—4,5 Si	2,5

¹ Остальное Zn. ² Суммарное количество примесей (Pb, Fe, Sb, P, S, Mn, As, Sn, Al и др.) не должно превышать указанного.

тивляются износу и коррозии. Различают две основные группы сплавов: латуни — сплавы меди с цинком и бронзы — сплавы меди с другими компонентами, в числе которых не основным также может быть цинк. Химический состав указывают в марках. Легирующие компоненты обозначают буквами: А — алюминий, Б — бериллий, Ж — железо, К — кремний, Мц — марганец, Мг — магний, Н — никель, О — олово, С — свинец, Т — титан, Ф — фосфор, Х — хром, Ц — цинк. Массовая доля компонентов (в %) показана в марках цифрами.

По способу получения заготовок и изделий подразделяют на сплавы, обрабатываемые давлением, и литейные. Деформируемые сплавы поставляют в виде листов, ленты, проволоки, проката различного профиля и других полуфабрикатов, из которых затем изготавливают изделия. Литейные сплавы предназначены для получения отливок.

В зависимости от массовой доли легирующих компонентов медные сплавы по структуре могут быть однофазными (α) и двухфазными (α + химическое соединение). α -твердый раствор легирующих компонентов в меди; химическое соединение может находиться в эвтектоиде. Деформируемые сплавы — однофазные и реже двухфазные с небольшим количеством химического соединения или эвтектоида. Однофазные сплавы обладают высокой пластичностью, хорошо деформируются в горячем и холодном состояниях. Двухфазные — воспринимают лишь горячую деформацию при температурах более 500—600 °С.

Литейными являются всегда двухфазные сплавы. Они отличаются более высокой прочностью и низкой пластичностью, содержат по сравнению с деформируемыми больше примесей, в том числе улучшающих литейные свойства.

Латуни. Обозначают буквой «Л»; первые цифры в марке соответствуют среднему содержанию меди в деформируемых латунях и цинка в литейных; остальные цифры показывают содержание легирующих компонентов соответственно их буквенным обозначениям и расположены в деформируемых латунях в конце марки, а в литейных — после каждой буквы (табл. 4.1).

Латуни могут быть двухкомпонентными (простые), легированными только цинком, и многокомпонентными (специальные или сложные), в которые дополнительно вводят различные элементы с целью получения требуемых свойств: для улучшения обрабатываемости резанием — свинец; коррозионной стойкости — олово, алюминий, кремний, марганец; механических свойств — алюминий и никель и т. д. Поэтому некоторые латуни имеют специальное назначение: ЛС59-1 — автоматная латунь, предназначенная для обработки на станках-автоматах; ЛАЖ60-1-1, ЛЖМц59-1-1, ЛО70-1 и ЛО62-1, обладающие высокой коррозионной стойкостью в морской воде, используют в

судостроении и т. п. Однофазные латуни с большим содержанием меди называют томпаком (Л96, Л90) или полутомпаком (Л80); обладают хорошей пластичностью, электро- и теплопроводностью.

Поскольку в латунях при нагреве отсутствуют фазовые превращения, то детали и отливки из них подвергают лишь отжигу (табл. 4.2). Он необходим для снятия напряжений и рекристаллизации деформированных латуней, гомогенизации и снятия напряжений в от-

4.2. Режимы отжига¹ заготовок и изделий из латуней, механические свойства

Марка	Температура отжига, °C	Механические свойства	
		$\sigma_{\text{в}}$, МПа	δ , %
Л96	600—700	240	50
Л90	650—720	260	45
Л80	600—700	320	52
Л70	600—650	330	55
Л68	550—650		
Л63		360	49
ЛА77-2	600—650	400	55
ЛЖМц59-1-1		450	50
ЛН65-5		400	65
ЛМц58-2			40
ЛО90-1	650—720	280	45
ЛО70-1	600—640	350	60
ЛО62-1	620—670	400	40
ЛО60-1	650—700	380	40
ЛС63-3	620—650	350	55
ЛС74-3	630—670	350	50
ЛС64-2	620—650	350	55
ЛС60-1	600—650	370	45

Марка	Температура отжига, °C	Механические свойства	
		σ_B , МПа	δ , %
ЛС59-1	580—650	400	45
ЛК80-3	600—750	300	58
ЛАН59-3-2	600—650	400	50
ЛЦ40Мц1,5	600—700	390	20
ЛЦ30А3		300—400	12—15
ЛЦ40С		215	12—20
ЛЦ23А6ЖЗМц2	650—750	650—700	7
ЛЦ16К4	700—760	300—350	15

¹ Загрузка в печь при температуре отжига; выдержка 1—3 ч; охлаждение на воздухе или с печью.

ливках. Наклеп и высокие остаточные напряжения, сохраняющиеся после деформации, вызывают растрескивание латунных деталей при эксплуатации или хранении во влажной среде («сезонное растрескивание»). Для предупреждения этого их подвергают отжигу (табл. 4.3).

Бронзы. Обозначают буквами «Бр», после которых в марках деформируемых бронз вначале буквами записывают легирующие компоненты, а затем цифрами — их количество в той же последова-

4.3. Режимы отжига¹ для предупреждения растрескивания латуней

Марка	Температура отжига, °C	Выдержка, ч
Л96, Л90, Л80, Л70, Л68, Л63	250—300	2—5
ЛА77-2, ЛАН59-3-2, ЛЖМц59-1-1, ЛН65-5, ЛМц58-2	300—350	2—5
ЛО90-1, ЛО70-1, ЛО62-1, ЛО60-1	300—400	2—5
ЛС63-3, ЛС74-3, ЛС64-2, ЛС60-1, ЛС59-1, ЛК80-3	300—400	2—5

¹ Охлаждение на воздухе.

4.4. Химический состав¹ некоторых марок бронз (ГОСТ 5017—74, ГОСТ 613—79, ГОСТ 18175—78, ГОСТ 493—79)

Марка	Содержание компонентов, % (мас.)					Примеси ²	Назначение ³		
	Sn	Al (Be)	Pb, P, Mn	Ni, Zn	прочие		Д	Л	
Оловянные бронзы									
БрОФ7-0,2	7,0—8,0	—	0,1—0,25 P	—	—	0,1	+		
БрОФ6,5-0,4	6,0—7,0	—	0,26—0,4 P	0,1—0,2 Ni	—		+		
БрОФ6,5-0,15	6,0—7,0	—	0,1—0,25 P	—	—		+		
БрОФ4-0,25	3,5—4,0	—	0,2—0,3 P	—	—		+		
БрОЦ4-3	3,5—4,0	—	—	2,7—3,3 Zn	—	0,2	+		
БрОЦС4-4-2,5	3,0—5,0	—	1,5—3,5 Pb	3,0—5,0 Zn	—		+		
БрОЗЦ12С5	2,0—3,5	—	3,0—6,0 Pb	8,0—15 Zn	—	1,3			+
БрОЗЦ7С5Н1	2,5—4,0	—	3,0—6,0 Pb	6,0—9,5 Zn	0,5—2,0 Ni				+
БрО5Ц5С5	4,0—6,0	—	4,0—6,0 Pb	4,0—6,0 Zn	—				+
БрО8Ц4	7,0—9,0	—	—	4,0—6,0 Zn	—	1,0			+
БрО10Ф1	9,0—11,0	—	0,4—1,1 P	—	—			+	
БрО10Ц2	9,0—11,0	—	—	1,0—3,0 Zn	—			+	

Марка	Содержание компонентов, % (мас.)					Примеси ²	Назначение ³		
	Sn	Al (Be)	Pb, P, Mn	Ni, Zn	прочие		Д	Л	
Алюминиевые бронзы									
БрА5	—	4,0—6,0	—	—	—	1,1	+		
БрА7	—	6,0—8,0	—	—	—		+		
БрАМц9-2	—	8,0—10,0	1,5—2,5 Mn	—	—	1,5	+		
БрАЖ9-4	—		—	—	2,0—4,0 Fe	1,7	+		
БрАЖМц10-3-1,5	—	9,0—11,0	1,0—2,0 Mn	—		0,7	+		
БрАЖН10-4-4	—	9,5—11,0	—	3,5—5,5 Ni	3,5—5,5 Fe	0,6	+		
БрА9Мц2Л	—	8,0—9,5	1,5—2,5 Mn	—	—	2,8			+
БрА9Ж3Л	—	8,0—10,5	—	—	2,0—4,0 Fe	2,7			+
БрА10Ж3Мц2	—	9,0—11,0	1,0—3,0 Mn	—		1,0			+
БрА10Ж4Н4Л	—	9,5—11,0	—	3,5—5,5 Ni	3,5—5,5 Fe	1,5			+
БрА11Ж6Н6	—	10,5—11,5	—	5,0—6,5 Ni	5,0—6,5 Fe			+	
Бериллиевые бронзы									
БрБ2	—	1,8—2,1 Be	—	0,2—0,5 Ni	—	0,5	+		
БрБНТ1,7	—	1,6—1,85 Be	—	0,2—0,4 Ni	0,1—0,25 Ti		+		
БрБНТ1,9	—	1,85—2,1 Be	—	0,2—0,4 Ni	0,1—0,25 Ti	0,5	+		
Кремниевые бронзы									
БрКМц3-1	—	—	1,0—1,5 Mn	—	2,7—3,5 Si	1,0	+		
БрКН1-3	—	—	0,1—0,4 Mn	2,4—3,4 Ni	0,6—1,1 Si	0,4	+		
Марганцевая, хромовая, свинцовая бронзы									
БрМц5	—	—	4,5—5,5 Mn	—	—	0,9	+		
БрХ1	—	—	—	—	0,4—1,2 Cr	0,3	+		
БрС30	—	—	27—31,0 Pb	—	—	0,9			+

¹ Остальное Cu. ² Суммарное количество примесей (Fe, Pb, Sb, Al, Si, Zn, P и др.) не более указанного. ³ Д — обрабатываемые давлением, Л — литейные; знак «+» обозначает назначение сплава.

4.5. Режимы отжига¹ и механические свойства бронз

Марка	Температура отжига, °С	Механические свойства		
		$\sigma_{\text{л}}$, МПа	δ , %	НВ
БрОФ7-0,2	600—650	—	—	—
БрОФ6,5-0,4		350—450	60	70—90
БрОФ6,5-0,15		400	65	70
БрОФ4-0,25		340	52	55—70
БрОЦ4-3	600	350	40	60
БрОЦС4-4-2,5		300—350	35—45	
БрОЗЦ12С5 ²	700—800	180—205	5—8	
БрОЗЦ7С5Н1 ²	650—700	180—210	5—6	
БрО5Ц15С5 ²	600—650	150—180	4—6	75
БрО8Ц4 ²		190—200	10	
БрО10Ф1 ²	650—700	215—245	3—10	80—90
БрО10Ц2 ²	650—750	215—225	10	65—75
БрА5	600—670	380	65	60
БрА7	650—750	420	70	70
БрАМц9-2		550	45	107
БрАЖ9-4	700—750	600—640	40	110
БрАЖМц10-3-1,5	650—750	600—650	27—30	120
БрАЖН10-4-4	700—750		35	140—160
БрА9Мц2Л ²	650—750	390	20	80
БрА9ЖЗЛ ²		400—490	10—12	100
БрА10ЖЗМц2 ²		390—490		100—120
БрА10Ж4Н4Л ²		590—650	5—10	160—170
БрА11Ж6Н6 ²	650—700	600	2	250

Марка	Температура отжига, °С	Механические свойства		
		σ_B , МПа	δ , %	НВ
БрБ2	630—750	500	30	100
БрБНТ1,7	650—750	—	—	—
БрБНТ1,9		—	—	—
БрКМц3-1	700—750	380	35	80
БрКН1-3	650—750	450	12	—
БрМц5	700—750	300	40	80
БрХ1	600—700	—	—	—
БрС30 ²	—	60—80	4—6	25

¹ Выдержка 2—6 ч; охлаждение с печью или на воздухе. ² Механические свойства сплавов минимальные.

тельности. Обозначение литейных бронз аналогично обозначению литейных латуней. Некоторые литейные бронзы, близкие по химическому составу к деформируемым, дополнительно помечают в конце марки буквой «Л» (табл. 4.4).

Бронзы по основному легирующему компоненту подразделяют на оловянные, алюминиевые, бериллиевые и т. д. Оловянные бронзы имеют низкую усадку (менее 1 %) из-за значительной пористости, являются лучшим литейным материалом; применяются для получения сложных фасонных отливок; обладают хорошими износостойкостью (двухфазные сплавы), антифрикционными свойствами, обрабатываемостью резанием и коррозионной стойкостью в атмосфере и морской воде.

Наибольшей пластичностью и высокой прочностью обладают алюминиевые бронзы. Высокие прочность и упругие свойства сочетаются с хорошей электропроводностью у бериллиевых бронз, применяемых в приборостроении для изготовления пружин, мембран, сальфонов, контактов и т. п. Более дешевые кремниевые бронзы обеспечивают повышенную устойчивость против коррозии в щелочных средах и превосходят оловянные по прочности, твердости и износостойкости. Жаропрочную марганцевую бронзу используют для изделий, работающих при повышенных температурах, а свинцовую, обладающую высокими антифрикционными свойствами и теплопроводностью, — для ответственных тяжело нагруженных подшипников, работающих при больших скоростях.

Режимы отжига и механические свойства бронз приведены в табл. 4.5. Некоторые марки бронз упрочняют термической обработкой: двухфазные алюминиевые — за счет мартенситного превращения при закалке; бериллиевые (до $\sigma_{\text{н}}=1200$ МПа) и кремниевые — в результате дисперсионного твердения при старении после закалки (табл. 4.6).

4.6. Режимы термической обработки изделий из бронз

Марка	Температура, °С		Твердость НВ
	закалки ¹	отпуска (старения) ²	
БрАЖ9-4	830—860	300—350	—
БрА9ЖЗЛ			—
БрАМц9-2	800—840	370—420	150—187
БрА9Мц2Л	800—850	350—450	
БрАЖМц10-3-1,5	830—860	300—350	207—285
БрА10ЖЗМц2			
БрАЖН10-4-4	920—980	400—450	До 400
БрА10Ж4Н4Л	850—920	580—620	220—240
БрА11Ж6Н6	875—925	400—650	—
БрБ2	760—800	290—330	≥ 360
БрБНТ1,7			≥ 340
БрБНТ1,9			≥ 360
БрКМц3-1	780—820	400—475	130—180
БрКН1-3	830—880	450—480	150—200
БрМц5	1000—1020	470—490	—

¹ Выдержка 0,5—4 ч (в зависимости от толщины изделия или массы садки); для бериллиевых бронз 10—20 мин; охлаждение в воде. ² Продолжительность отпуска (старения) 1—6 ч; охлаждение на воздухе.

4.3. Алюминиевые сплавы

Основное преимущество алюминиевых сплавов, определяющее область их применения, — малая плотность $(2,7—3,0) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ при достаточно высоких механических и технологических свойствах. По технологии получения заготовок и изделий их делят на деформируемые и литейные.

Деформируемые алюминиевые сплавы. Обозначают условно буквами Д, В, АВ, АК и АД, после которых ставят номер сплава. В некоторых марках дают буквенное обозначение основного легирующего компонента и его среднюю массовую долю: АМц ($\sim 1\% \text{ Mn}$), АМг2 ($\sim 2\% \text{ Mg}$) и т. д. Применяют для изготовления заготовок (полуфабрикатов) и изделий путем горячей и холодной пластической деформации (прокатки, волочения,ковки, штамповки и т. д.). Подразделяют на не упрочняемые и упрочняемые термической обработкой (табл. 4.7).

К сплавам, не упрочняемым термической обработкой, относятся сплавы алюминия с марганцем или магнием (АМц, АМг2, АМг3 и др.), которые отличаются повышенной пластичностью и коррозионной стойкостью, хорошей свариваемостью, но низкой прочностью; используются в отожженном, нагартованном или полунанартованном состояниях. В табл. 4.8 приведены режимы отжига и свойства этих сплавов.

Сплавы, упрочняемые термической обработкой, различают по эксплуатационным и технологическим свойствам. Наиболее широко применяют сплавы нормальной прочности: дюралюмины, представляющие собой сплавы алюминия с медью и магнием (Д1, Д16 и др.), и авиаль (АВ). Последний уступает дюралюмину в прочности, но обладает лучшей пластичностью в холодном и горячем состояниях, хорошо сваривается и сопротивляется коррозии. Повышенной пластичностью обладает и дюралюмин Д18, предназначенный для изготовления заклепок, которые применяют после закалки и старения.

Широко используют высокопрочные (В95), жаропрочные (АК4, АК4-1) и коррозионностойкие (АД31, АД33) сплавы. Детали сложной формы изготавливают ковкой и штамповкой из ковочных сплавов повышенной пластичности (АК6, АК8).

Все упрочняемые сплавы являются двухфазными. Изделия из них подвергают закалке с целью получения пересыщенного твердого раствора, а затем старению, в процессе которого происходит дисперсионное твердение (см. табл. 4.8). Продолжительность выдержки при температуре закалки выбирают в зависимости от толщины или диаметра изделия (табл. 4.9).

Литейные алюминиевые сплавы. Обозначают условно буквами АЛ, после которых указывают номер сплава. В некоторых марках

4.7. Химический состав¹ деформируемых алюминиевых сплавов (ГОСТ 4784—74)

Марка	Содержание компонентов ² , % (мас.)				
	Cu	Mg	Mn	Si	прочие
Сплавы, не упрочняемые термической обработкой					
АМц	<0,1	<0,2	1,0—1,6	<0,6	—
АМг2		1,8—2,6	0,2—0,6	<0,4	—
АМг3		3,2—3,8	0,3—0,6	0,5—0,8	—
АМг4		3,8—4,5	0,5—0,8	<0,4	0,02—0,1 Ti; 0,05—0,25Cr; 0,0002—0,005 Be
АМг5		4,8—5,8	0,3—0,8	<0,5	0,02—0,1 Ti; 0,0002—0,005 Be
АМг6		5,8—6,9	0,5—0,8	<0,4	0,02—0,1 Ti; 0,0002—0,005 Be
Сплавы, упрочняемые термической обработкой					
Д1	3,8—4,8	0,4—0,8	0,4—0,8	<0,7	—
Д1П ³	3,8—4,5				—
Д16	3,8—4,9	1,2—1,8	0,3—0,9	<0,5	—
Д16П ³	3,8—4,5	1,2—1,6	0,3—0,7		—
В65	3,9—4,5	0,15—0,3	0,3—0,5	<0,25	—
Д18	2,2—3,0	0,2—0,5	<0,2	<0,5	—
АВ	0,1—0,5	0,45—0,9	0,15—0,35	0,5—1,2	—
В95	1,4—2,0	1,8—2,8	0,2—0,6	<0,5	5,0—7,0 Zn; 0,1—0,25 Cr
1915	<0,1	1,3—1,8		<0,3	3,4—4,0 Zn; 0,08—0,2 Cr 0,15—0,22 Zr
АК4	1,9—2,5	1,4—1,8	<0,2	0,5—1,2	0,8—1,3 Ni; 0,8—1,3 Fe
АК4-1	1,9—2,7	1,2—1,8		<0,35	0,8—1,4 Ni; 0,8—1,4 Fe; 0,02—0,10 Ti
АК6	1,8—2,6	0,4—0,8	0,4—0,8	0,7—1,2	—
АК8	3,9—4,8		0,4—1,0	0,6—1,2	—
АД31	<0,1	0,4—0,9	<0,1	0,3—0,7	—
АД33	0,15—0,4	0,8—1,2	<0,15	0,4—0,8	—

¹ Остальное Al. ² Со знаком «<» указаны элементы, присутствующие в качестве примесей; во всех сплавах присутствуют также примеси Fe, Zn, Ti, Ni и др. ³ Применяют для изготовления проволоки, предназначенной для холодной высадки.

4.8. Термическая обработка заготовок и изделий из деформируемых алюминиевых сплавов

Марка	Температура, °C		Старение		Механические свойства	
	отжига ¹	закалки ²	температура, °C	выдержка, ч	σ_B , МПа	δ , %
АМц	350—420	—	—	—	130	23
АМг2		—	—	—	200	23
АМг3		—	—	—	200	22
АМг4		—	—	—	—	—
АМг5	340—470	—	—	—	260	22
АМг6		—	—	—	300	18
Д1, Д1П	340—370	495—510	15—40	96	420	15
Д16		495—505			460—520	18—10
			185—195	2—4	—	—
Д16П	340—370	490—500	15—40	96	400—510	18—10
В65	—	510—520	70—80	24	400	20
Д18	340—370	490—505	15—40	96	300	24
АВ		510—530			330	16
			150—165	12—15		
В95	360—390	465—475	130—145	16	560—600	8—10
1915	—	440—460	95—105, далее 145—155	20 10	—	—
АК4	350—400	510—520	165—175	15—18	440	10
АК4-1		525—540	180—190	10		12
АК6		505—520	150—160	12—15	420	13
			15—40	96		
АК8		495—505	150—165	8—12	490	10
			15—40	96		
АД31	380—420	520—530	15—40	240	—	—
			160—170	10—12	—	—

¹ Выдержка 1—2 ч; охлаждение до 200—250 °C со скоростью 30 °C/ч, далее на воздухе. ² Выдержку выбирают в зависимости от условий нагрева и толщины (диаметра) изделия или заготовки; охлаждение в воде.

4.9. Примерная продолжительность (мин) выдержки¹ при закалке изделий из алюминиевых деформируемых сплавов

Оборудование для нагрева	Толщина или диаметр изделия, мм									
	До 0,8	0,8—2,5	2,5—5,0	5—12	12—20	20—60	60	70	80	90
Селитровая ванна	8	10	12	15	30	40—60	60	70	80	90
Воздушная электропечь	12	20—30	40	80	90	110	130	130	180	180

¹ Выдержку назначают по наибольшему сечению изделия; в случае повторной закалки выдержку следует сократить вдвое.

приводят буквенные обозначения легирующих компонентов (К — кремний, М — медь, Ц — цинк), цифра после которых указывает на их среднее содержание, например АК5М7, АК4М2Ц6 (табл. 4.10).

Для различных видов термической обработки (табл. 4.11) приняты следующие условные обозначения: Т1 — искусственное старение без предварительной закалки; Т2 — отжиг; Т4 — закалка и естественное старение; Т5 — закалка и кратковременное (неполное) искусственное старение; Т6 — закалка и полное искусственное старение; Т7 — закалка и стабилизирующее старение; Т8 — закалка и смягчающее старение.

Лучшими литейными свойствами обладают силумины (сплавы алюминия с кремнием), которые применяют для сложных отливок. Для них характерны низкая температура литья, хорошая жидкотекучесть, но низкие механические свойства. Наименьшую прочность имеет не упрочняемый термической обработкой силумин АЛ2; отливки из него подвергают отжигу (Т2). Прочность упрочняемых силуминов АЛ4 и АЛ9 несколько возрастает после закалки и старения (Т4—Т8).

Повышение прочности сплавов достигается легированием медью и магнием, который существенно улучшает также коррозионную стойкость. Высокопрочные (АЛ8, АЛ27, АЛ27-1) и жаропрочные (АЛ1, АЛ19, АЛ21) сплавы упрочняются дисперсионным твердением при старении после закалки; по литейным свойствам уступают силуминам.

Термическая обработка литейных алюминиевых сплавов должна производиться с применением печей и ванн, обеспечивающих малый перепад температур (не более 10 °С) в рабочем пространстве, и точных регулирующих приборов теплового контроля. Сплавы с высоким содержанием магния из-за опасности возгорания и взрыва следует нагревать в печах, а не в селитровых ваннах.

4.10. Химический состав¹ некоторых литейных алюминиевых сплавов (ГОСТ 2685—75)

Марка	Содержание компонентов. % (мас.)					
	Mg	Si	Mn	Cu	Ni Ti	прочие
Сплавы системы Al—Si						
АЛ2	—	10,0—13,0	—	—	—	—
АЛ4	0,17—0,3	8,0—10,5	0,2—0,5	—	—	—
АЛ9	0,2—0,4	6,0—8,0	—	—	—	—
Сплавы системы Al—Si—Cu						
АЛ3	0,35—0,6	4,5—5,5	0,6—0,9	1,5—3,0	—	—
АЛ5			—	1,0—1,5	—	—
АЛ6	—	4,5—6,0	—	2,0—3,0	—	—
АК5М7	0,2—0,5	4,5—6,5	—	6,0—8,0	—	—
АК7М2	0,2—0,6	6,0—8,0	0,2—0,6	1,5—3,0	—	—
АК4М4	—	3,0—5,0		3,5—5,0	—	—
Сплавы системы Al—Cu						
АЛ7	—	—	—	4,0—5,0	—	—
АЛ19	—	—	0,6—1,3	4,5—5,3	0,15—0,35 Ti	—
Сплавы системы Al—Mg						
АЛ8	9,3—10,0	—	—	—	—	—

Марка	Содержание компонентов, % (мас.)					
	Mg	Si	Mn	Cu	Ni, Ti	прочие
АЛ22	10,5—13,0	0,8—1,2	—	—	0,05—0,15 Ti	0,03—0,07 Be
АЛ23	6,0—7,0	—	—	—		0,02—0,1 Be 0,05—0,2 Zr
АЛ23-1 ²		—	—	—		0,02—0,1 Be 0,05—0,2 Zr
АЛ27	9,5—10,5	—	—	—		0,05—0,15 Be 0,05—0,2 Zr
АЛ27-1 ²		—	—	—		0,05—0,15 Be 0,05—0,2 Zr
Сплавы системы Al—прочие компоненты						
АЛ1	1,25—1,75	—	—	3,75—4,5	1,75—2,25 Ni	—
АЛ11	0,1—0,3	6,0—8,0	—	—	—	7,0—12,0 Zn
АЛ21	0,8—1,3	—	0,15—0,25	4,6—6,0	2,6—3,6 Ni	0,1—0,2 Cr
АЛ24	1,5—2,0	—	0,2—0,5	—	0,1—0,2 Ti	3,5—4,5 Zn
АЛ25	0,8—1,3	11,0—13,0	0,3—0,6	1,5—3,0	0,8—1,3 Ni 0,05—0,2 Ti	—
АЛ30			—	0,8—1,5	0,8—1,3 Ni	—
АК4М2Ц6	0,1—0,3	3,5—5,5	0,4—0,7	1,5—3,0	—	5,0—7,0 Zn

¹ Остальное Al; во всех сплавах присутствуют примеси Fe — до 0,2—1,6 % и Mg, Si, Mn, Cu, Zn, Sn, Pb, Ni, Ti, Be, Zr — до $\Sigma=0,5 \pm 2,8$ %. ² Сплавы более чистые по примесям ($\leq 0,2$ %).

4.11. Режимы термической обработки отливок и изделий из некоторых алюминиевых литейных сплавов, механические свойства

Марка	Обозначение термической обработки	Закалка			Старение (отжиг) ¹		Механические свойства	
		температура, °С	выдержка, ч	охлаждающая среда	температура, °С	выдержка, ч	δ, МПа	δ, %
							не менее	
АЛ1	Т5	510—520	2—5	Вода ³	170—180	3—5	210	0,5
	Т7				220—240	2—4	180	1
АЛ2	Т2	—	—	—	290—310		150	2—4
АЛ3	Т1	—	—	—	170—180	3—5	170	1
	Т2	—	—	—	290—310	2—4	150	
	Т5	510—520 ² 520—530	2—4	Вода ⁴	170—180	3—5	220—250	0,5
	Т7	510—520	3—6	Вода ³	220—240		210	1
	Т8				325—335		180	0,5
АЛ4	Т1	—	—	—	170—180	5—15	200	1,5
	Т6	530—540	2—6	Вода ³		10—15	240	3
	Т1	—	—	—	175—185	5—15	160	0,5
	Т2	—	—	—	225—235	7—9	—	—

Марка	Обозначение термобработки	Закалка			Старение (отжиг) ¹		Механические свойства	
		температура, °С	выдержка, ч	охлаждающая среда	температура, °С	выдержка, ч	σ_B , МПа	δ , %
							не менее	
АЛ5	T5	520—530	3—8	Вода ³	170—180	5—10	220	0,5
	T6				195—205	3—8	230	
	T7				220—240	3—5	180	1
АЛ6	T2	—	—	—	290—310	2—4	150	
АЛ7	T4	510—520	10—15	Вода ⁵	—	—	200	6
	T5				145—155	3—5	220	3
АЛ8	T4	425—435		Масло	—	—	290	9
АЛ9	T1	—	—	—	225—230	7—9	160	2
	T2	—	—	—	290—300	2—4	140	
	T4	530—540	2—6	Вода ³	—	—	180	4
	T5				145—155	1—3	210	2
	T6			Вода ⁵	195—205	2—5	230	1
	T7				220—235	3—5	200	2
	T8				240—260	3—5	170	3
АЛ11	T2	—	—	—	290—310	2—4	210	2
АЛ19	T4	540—550	10—12	Вода ³	—	—	300	3
	T5				170—180	3—5	340	4
	T7	525—535 ²	5—9		240—260	3—10	320	2
	540—550							
АЛ21	T2	—	—	—	290—320	5—10	180	1
	T7	300—100 ²	2	Вода ⁵	290—310	3—10	210	
		495—505						
	520—530							
АЛ22	T2	—	—	—	290—310	2—4	180	
	T4	420—430	15—20	Вода ⁵ или масло	—	—	230	15
АЛ23	T4	430—440	10	Вода ⁵	—	—	230	6
		430—440 ²	4		—	—		
		450—460			—	—		
АЛ23-1	T4	450—460	4			—	—	250

Продолжение табл. 4.11

Марка	Обозначение термообработки	Закалка			Старение (отжиг) ¹		Механические свойства	
		температура, °C	выдержка, ч	охлаждающая среда	температура, °C	выдержка, ч	σ_B , МПа	δ , %
							не менее	
АЛ24	T5	575—585	4—6	Вода ³ или воздух	115—120	8—10	270	2
АЛ25	T1	—	—	—	200—220	10—12	190	—
АЛ27	T4	430—440	10	Вода ⁵	—	—	320	12
		430—440 ²	4		—	—		
		450—460	—		—	—		
АЛ27-1	T4	То же	То же	Вода ⁵	—	—	350	15
АЛ30	T1	—	—	—	195—205	10—12	200	0,5
АК5М7	T1	—	—	—	205—215	5—6	170	
	T6	475—485	5	Вода ⁴	205—215		180	
АК7М2	T1	—	—	—	225—235	8	210	1,5
	T5	510—520	5—12	Вода ⁵	145—155	3	240	0,5
АК4М4	T5	495—505	5	Вода ⁴	145—155	2—3	220	
АК4М2Ц6	T5	495—505			175—185	5—6	220—240	—

¹ Охлаждение: при старении на воздухе; при отжиге на воздухе или до 80—100 °C с печью, а далее на воздухе. ² Ступенчатый нагрев. ³ Нагретая до 20—100 °C. ⁴ Нагретая до 50—100 °C. ⁵ Нагретая до 80—100 °C.

4.4. Магниеые сплавы

В машиностроении применяют в основном сплавы магния с алюминием, марганцем, цинком, цирконием и ниобием. Они имеют меньшую по сравнению с алюминиевыми сплавами плотность: $(1,7—1,8) \times 10^3$ кг/м³. Их разделяют на литейные и деформируемые и обозначают соответственно буквами МЛ и МА, после которых ставится номер сплава (табл. 4.12).

4.12. Химический состав¹ некоторых марок магниевых сплавов

Марка ²	Содержание компонентов, % (мас)					Примеси
	Al	Mn	Zn	Zr	прочие	
Литейные сплавы (ГОСТ 2856—79)						
МЛЗ	2,5—3,5	0,15—0,5	0,5—1,5	—	—	0,5
МЛ4	5,0—7,0		2,0—3,5	—	—	
МЛ4пч				—	—	0,13
МЛ5	7,5—9,0		0,2—0,8	—	—	0,5
МЛ5пч				—	—	0,13
МЛ5он				—	—	0,7
МЛ6	9,0—10,2	0,1—0,5	0,6—1,2	—	—	0,5
МЛ8	—	—	5,5—6,6	0,7—1,1	0,2—0,8 Cd	0,2
МЛ9	—	—	—	0,4—1,0	0,2—0,8 In 1,9—2,6 Nd	0,35
МЛ10	—	—	0,1—0,7	0,4—1,0	2,2—2,8 Nd	0,2
МЛ11	—	—	0,2—0,7		2,5—4,0 ΣРЗМ	
МЛ12	—	—	4,0—5,0	0,6—1,1	—	
МЛ15	—	—		0,7—1,1	0,6—1,2 La	

Марка	Содержание компонентов, % (мас)					Примеси
	Al	Mn	Zn	Zr	прочие	
Деформируемые сплавы (ГОСТ 14957—76)						
МА1	—	1,3—2,5	—	—	—	0,8
МА2	3,0—4,0	0,15—0,5	0,2—0,8	—	—	0,5
МА2-1	3,8—5,0	0,3—0,7	0,8—1,5	—	—	
МА2-1пч		0,2—0,6		—	—	0,13
МА5	7,8—9,2	0,15—0,5	0,2—0,8	—	—	0,5
МА8	—	1,3—2,2	—	—	0,15— 0,35 Ce	0,9
МА8пч	—	1,0—1,5	—	—	0,15— 0,35 Ce	0,2
МА14	—	—	5,0—6,0	0,3—0,9	—	0,6

¹ Остальное Mg; суммарное количество примесей (Al, Si, Fe, Ni, Cu, Be и др.) не более указанного. ² «пч» — повышенной чистоты; «ом» — общего назначения.

Для магниевых сплавов характерны низкие прочность и пластичность. Поэтому они пригодны для мало нагруженных деталей. Ряд марок может быть упрочнен закалкой и старением, в процессе которого происходит дисперсионное твердение (табл. 4.13). Для различных видов термической обработки приняты следующие обозначения: Т1 — старение (без предварительной закалки); Т2 — отжиг; Т4 — гомогенизация и закалка на воздухе; Т6 — гомогенизация, закалка на воздухе и старение; Т61 — гомогенизация, закалка в воде и старение.

Особенностью поведения магниевых сплавов при нагреве является медленное протекание диффузионных процессов. В связи с этим необходимы длительные выдержки при нагреве под закалку и старению; охлаждение при закалке может производиться на спокойном воздухе. Во избежание пожара и взрыва категорически запрещается нагрев изделий из магниевых сплавов в жидких окислительных и цианистых ваннах. Нагрев производят в печах, обеспечивающих перепад температур в рабочем пространстве не более $\pm 5^\circ\text{C}$, отсутствие прямого нагрева лучеиспусканием нагревателей (применяют экраны), герметичность и отсутствие подсоса воздуха, инертную атмосферу. Не разрешается загружать влажные изделия.

4.13. Режимы¹ термической обработки изделий из магниевых сплавов

Марка	Обозначение термообработки	Отжиг, закалка				Старение		Механические свойства	
		1-я ступень		2-я ступень		температура, °C	выдержка, ч	σ_B , МПа	δ , %
		температура, °C	выдержка, ч	температура, °C	выдержка, ч				
МЛЗ	T2	300—350	2—5	—	—	—	—	160	6
МЛ4, МЛ4пч	T2	280—320		—	—	—	—		3
	T4	375—385	8—16	—	—	—	—	215	5
	T6			—	—	170—180	16	230	2
	T6	390—400	3—24	410—420	20	190—200	8		
	МЛ5,	T2	320—350	2—3	—	—	—	—	150
МЛ5пч,	T4	355—365	3	410—420	21—29	—	—	225	5
МЛ5он	T6					170—190	4—16	230	2
МЛ6	T2	170—250	3—5	—	—	—	—	150	1
	T4	405—415	24—32	—	—	—	—	220	4
	T61	355—365	3	405—415	21—29	185—195	4—8	260	1
МЛ8	T6	490	5	—	—	160—170	24	265	4
	T61			—	—			275	
МЛ9	T6	535—545	8—12	—	—	200	6—12	230	3
МЛ10	T6			—	—	200—210	12—18		
	T61			—	—			240	

Марка	Обозначение термообработки	Отжиг, закалка				Старение		Механические свойства	
		1-я ступень		2-я ступень		температура, °C	выдержка, ч	σ_B , МПа	δ , %
		температура, °C	выдержка, ч	температура, °C	выдержка, ч				
МЛ11	T2	320—330	3—5	—	—	—	—	120	1,5
	T4	560—570	4—6	—	—	—	—	140	3
	T6			—	—	190—200	12—16	—	2
МЛ12	T1	—	—	—	—	200—300	4—6	230	5
МЛ15	T1	—	—	—	—		2—6	210	3
МА1	T2	230—250	0,5—5	—	—	—	—	260	10
	T2	300—350		—	—	—	—	190	3
МА2	T2	300—400	3—5	—	—	—	—	240	5
МА2-1	T2			—	—	—	—	280	12
МА5	T2	350—380	3—5	—	—	—	—	—	—
	T4	410—425	2—6	—	—	—	—	320	15
	T61	410—425	4	—	—	170—200	8—16	340	14
МА8	T2	300—350	0,5	—	—	—	—	320	14
	T2	230—250		—	—	—	—	270	10
МА14	T2	230—250		—	—	—	—	220	12
	T6	350—370	—	—	—	165—175	10	350	9

¹ Температура нагрева в пределах $\pm 5^\circ\text{C}$; охлаждение при закалке — на воздухе (T6) или в воде (T61); при отжиге — на воздухе или с печью; при старении — на воздухе.

4.5. Титановые сплавы

Титан и титановые сплавы обладают небольшой (по сравнению со сталью) плотностью ($\sim 4,5 \cdot 10^3$ кг/м³), высокой коррозионной стойкостью в морской воде, концентрированной азотной кислоте и других агрессивных средах, высокими прочностью и пластичностью; являются хорошим жаропрочным материалом; однако плохо обрабатываются резанием. Титан и титановые сплавы обозначают буквами ВТ или ОТ, после которых ставится номер сплава (табл. 4.14).

4.14. Химический состав¹ титана и титановых сплавов
(ГОСТ 19897—74)

Марка	Содержание компонентов, % (мас.)					
	Al	Mo	V	Mn, Zr, Cr	прочие	примеси
BT1-00	—	—	—	—	—	0,6
BT1-0	—	—	—	—	—	1,02
α -сплавы						
OT4-0	0,2—1,4	—	—	0,2—1,3 Mn	—	1,36
OT4-1	1,0—2,5	—	—	0,7—2,0 Mn	—	
OT4	3,5—5,0	—	—	0,8—2,0 Mn	—	
BT5	4,3—6,2	—	—	—	—	1,42
BT5-1	4,3—6,0	—	—	—	2,0—3,0 Sn	1,37
BT20	5,5—7,0	0,5—2,0	0,8—2,5	1,5—2,5 Zr	—	1,07
$(\alpha + \beta)$ -сплавы						
BT6	5,3—6,8	—	3,5—5,3	—	—	1,42
BT6-C	5,3—6,5	—	3,5—4,5	—	—	1,32
BT3-1	5,5—7,0	2,0—3,0	—	0,8—2,3 Cr	0,15—0,4 Si 0,2—0,7 Fe	1,15
BT 9	5,8—7,0	2,8—3,8	—	0,8—2,0 Zr	0,2—0,35 Si	7,80
BT14	3,5—6,3	2,5—3,8	0,9—1,9	—	—	1,37

Марка	Содержание компонентов, % (мас.)					
	Al	Mo	V	Mn, Zr, Cr	прочие	примеси
BT16	1,8—3,8	4,5—5,5	4,0—5,5	—	—	1,32
BT22	4,4—5,9	4,0—5,5		0,5—2,0 Cr	0,5—1,5 Fe	1,12

¹ Остальное Ti; суммарное количество примесей (C, Fe, Si, Zr, O, N, H и др.) не более указанного.

4.15. Режимы отжига прутков, поковок, штамповок, труб, профилей из титана и титановых сплавов и изделий из них

Марка	Температура отжига, ¹ °C		Изотермический отжиг ²		
	неполного	полного	Температура, °C		Выдержка, ч
			нагрева	изотермической выдержки	
BT1-00	450—485	670—690	—	—	—
BT1-0			—	—	—
OT4-0	480—520	690—710	—	—	—
OT4-1	520—560	740—760	—	—	—
OT4	545—585		—	—	—
BT5	550—600	800—850	—	—	—
BT5-1			—	—	—
BT6-C	600—650	750—800	800	750 или 500	0,5
BT6			—	—	—
BT3-1	—	850	870—920	600—650	2
BT9	530—620	—	950—980	530	6
BT14	550—650	740—760	790—810	640—660	0,5
BT16	—	—	770—790	500 ³	—
BT20	600—650	700—800	—	—	—
BT22	550—650	—	650—750	350 ³	—

¹ Охлаждение с печью или на воздухе. ² Охлаждение до температуры изотермической выдержки и после нее на воздухе. ³ Охлаждение до температуры изотермической выдержки с печью, далее на воздухе.

4.16. Температуры отжига титановых листов и изделий из них

Марка	Температура отжига, °C	Марка	Температура отжига, °C
BT1-00	520—540	OT4	660—680
BT1-0	520—540	BT5-1	700—750
OT4-0	500—610	BT20	650—750
OT4-1	640—660		

4.17. Режимы упрочняющей термической обработки ($\alpha + \beta$)-титановых сплавов¹

Марка сплава	Температура закали ² , °C	Отпуск ³	
		температура, °C	выдержка, ч
BT6	900—950	450—550	2—4
BT6-C	830—930		
BT3-1	860—920	500—620	1—6
BT9	920—940	500—600	
BT14	870—910	480—560	8—16
BT16	820—840	570—590	8—10
BT22	700—750	480—540	8—16

¹ Гнутки, поковки, штамповки, трубы, профили и изделия из них. ² Охлаждение в воде. ³ Охлаждение на воздухе.

По структуре различают α -сплавы и ($\alpha + \beta$)-сплавы (твердые растворы легирующих компонентов в α - и β -титане; α и β — полиморфные модификации титана): α -сплавы обладают меньшей прочностью, не подвергаются упрочняющей термической обработке, не сильно упрочняются при холодной пластической деформации; заготовки и изделия из них подвергают неполному, полному и изотермическому отжигу (табл. 4.15, 4.16); ($\alpha + \beta$)-сплавы обладают более высокими механическими свойствами и упрочняются термической обработкой (табл. 4.17); при закалке происходит мартенситное превращение, а при последующем отпуске дисперсионное твердение.

Вредной примесью титановых сплавов является водород, вызывающий охрупчивание. Для предотвращения водородной хрупкости и повышения ударной вязкости выполняют обезводородивание нагревом в вакууме (0,13 Па) при 670—700 °C в течение 2—6 ч. С целью повышения износостойкости производят азотирование изделий из титановых сплавов в среде очищенного азота или смеси азота с аргоном при 850—950 °C в течение 10—50 ч.

5. ОБОРУДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ЦЕХОВ

5.1. Классификация термических печей и ванн

Печи являются основным оборудованием термических цехов. Их классифицируют по виду нагрева, основному конструктивному признаку, характеру среды и частным конструктивным особенностям (табл. 5.1). Кроме буквенной индексации в марку печи входят цифры, где числитель показывает размеры рабочего пространства (ширину, длину, высоту или диаметр и высоту) в дециметрах, а знаменатель — максимально допустимую температуру в сотнях градусов Цельсия (рис. 5.1).

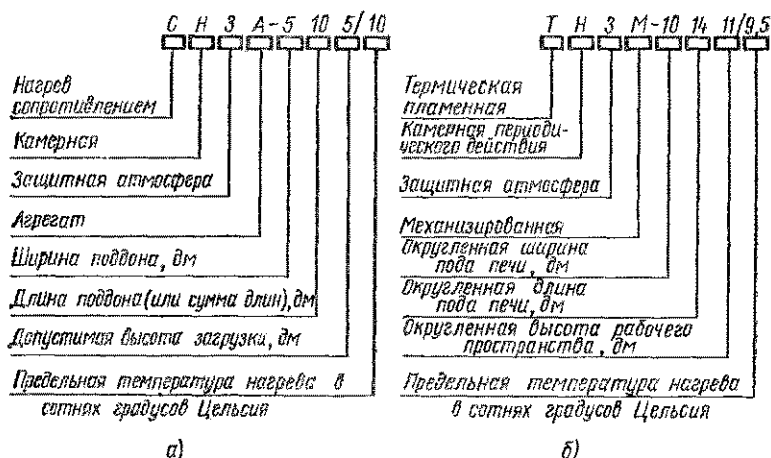


Рис. 5.1. Схема обозначения универсальных камерных печей:

а — электропечей сопротивления конструкции ВНИИЭТО, б — газовых печей конструкции ВНИИП «Теплопроект»

Печи для термической обработки могут быть периодического или непрерывного действия. В печах периодического действия изделия нагреваются обычно в неподвижном состоянии; являются, как правило, универсальными, допускают быстрый переход от одного технологического процесса к другому; нагреваемые изделия могут быть разнообразными. Применяют в основном в индивидуальном и мелкосерийном производстве.

В печах непрерывного действия нагрев происходит при движении заготовки. Перемещение изделий механизировано. Применяются в крупносерийном и массовом производстве. На печах обоих типов выполняют различные процессы термической обработки (табл. 5.2, 5.3).

5.1. Индексация печей для термической обработки

Буквенные обозначения

Первая буква — вид нагрева

Нагрев	Обозначение	Нагрев	Обозначение
Газовый	Г	Индукционный	И
Сопротивления	С	Пламенный	Т

Вторая буква — основной конструктивный признак

Конструктивный признак	Обозначение	Конструктивный признак	Обозначение
Карусельная	А	Конвейерная	К
Барабанная	Б	Камерная	Н
Ванна	В	Протяжная	П
Колпаковая	К	Рольганговая	Р
Выдвижной под	Д	Толкательная	Т
Подвесной конвейер	Е	Шахтная	Ш
Пульсирующий под	И	Элеваторная	Э

Третья буква — рабочая среда

Среда	Обозначение	Среда	Обозначение
Азот	А	Окислительная атмосфера	О
Вакуум	В	Пар водяной, вода	П
Металлы	Г	Соль, селитра	С
Защитная атмосфера	З	Цементационный газ	Ц
Масло	М		

Четвертая буква — отдельные особенности

Особенность	Обозначение	Особенность	Обозначение
Агрегат	А	Механизированная	М
Лабораторная	Л	Непрерывного действия	Н
Вертикальная	В	Периодического действия	П

5.2. Процессы термической обработки¹, проводимые в печах периодического действия

Термическая обработка	Тип электропечи				
	камерная	шахтная	колпаковая	камерная с выдвигным подом	элеваторная
	Характер загрузки				
	разнообразная	разнообразная	отливки, бунты волока, рулоны ленты, листы	отливки, сварные конструкции, рулоны, ленты, бунты проволоки	отливки, крупногабаритные изделия, изделия из алюминевых сплавов
Отжиг	+	+	+	+	+
Нормализация	+	+	+	+	+
Нагрев под закалку	+	+	—	—	+
Отпуск	+	+	+	+	+
Старение	+	+	+	+	+
Газовая цементация и нитроцементация	+	+	—	—	—
Газовое азотирование	—	+	—	—	—

Знак «+» обозначает применение печей для указанного процесса.

5.3. Процессы термической обработки, проводимые в печах непрерывного действия¹

Тип печи	Термическая обработка			
	отжиг	изотермический отжиг	нормализация	старение
Конвейерная	+	—	+	+
Рольганговая	+	+	+	+
Толкательная	+	+	+	+
Барабанная	+	—	—	—
Карусельная	+	—	+	—
Протяжная	+	—	+	—
С пульсирующим подом	+	—	+	—
С шагающим подом	+	—	+	—

¹ Знак «+» обозначает применение печей для указанного процесса.

5.2. Печи периодического действия

Камерные печи. Имеют камеру нагрева прямоугольного или круглого сечения, загрузка и выгрузка садки в них производятся в горизонтальной плоскости через торцовый или боковой проемы (вручную или грузоподъемными устройствами). Камерные печи (рис. 5.2) являются универсальными; их используют для разных видов термической обработки (см. табл. 5.2); выпускают на жидком и газообразном топливе, а также электрические. Средой может быть обычная печная (окислительная) или защитная атмосфера (табл. 5.4).

Камерные печи с выдвижным подом. Используют для термической обработки тяжелых деталей. Для загрузки и выгрузки садки под (футерованная тележка) выдвигается из печи (табл. 5.5).

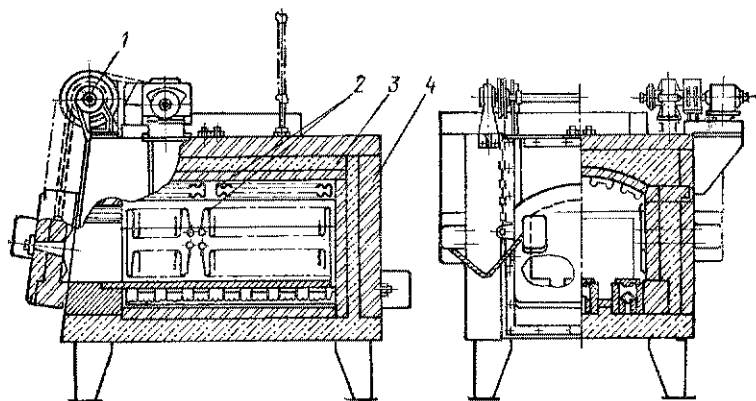


Рис. 5.2. Камерная электрическая печь СНО-8,5.17.5,0/10:

1 — механизм подъема дверцы, 2 — нагревательные элементы, 3 — футеровка, 4 — кожух

Колпаковые печи. Это печи (табл. 5.6) с открытым снизу подъемным нагревательным колпаком и одной или несколькими стационарными подинами. Являются специальными и предназначены для отжига стальной проволоки и ленты, а также для термической обработки цветных сплавов. Выпускаются печи с электрическим и газовым нагревом, с защитной или обычной печной атмосферой.

Шахтные печи. Представляют собой футерованную шахту цилиндрической формы. Загрузку и выгрузку садки производят, как правило, через верхний проем. Предназначены для термической (табл. 5.7) и химико-термической — цементация (табл. 5.8, рис. 5.3), азотирование и нитроцементация (табл. 5.9) — обработки деталей большой длины. Нагрев может быть газовый или электрический.

5.4. Камерные электропечи широкого назначения с металлическими нагревателями

Тип	Размеры рабочего пространства, мм			Температура применения, °C
	длина	ширина	высота	
CHO-20.4,0.1,4/7	400	200	140	700
CH3-2,0.4,0.1,4/10	400	200	140	1000
CH3-2,0.4,0.1,4/12	400	200	140	1250
CHO-2,5.5,0.1,7/7	500	250	170	700
CH3-2,5.5,0.1,7/10	500	250	170	1000
CH3-2,5.5,0.1,7/12	500	250	170	1250
CHO-3,0.6,5.2,0/7	650	300	200	700
CH3-3,0.6,5.2,0/10	650	300	200	1000
CH3-3,0.6,5.2,0/12	650	300	200	1250
CHO-4,0.8,0.2,6/7	800	400	260	700
CH3-4,0.8,0.2,6/10	800	400	260	1000
CH3-4,0.8,0.2,6/12	800	400	260	1250
CHO-5,0.10.3,2/7	1000	500	320	700
CH3-5,0.10.3,2/10	1000	500	320	1000
CH3-5,0.10.3,2/12	1000	500	320	1250
CHO-6,5.13.4,0/7	1300	650	400	700
CH3-6,5.13.4,0/10	1300	650	400	1000
CH3-6,5.13.4,0/12	1300	650	400	1250
CHO-8,5.17.5,0/7	1700	850	500	700
CH3-8,5.17.5,0/10	1700	850	500	1000
CH3-8,5.17.5,0/12	1700	850	500	1250
CHO-11.22.7,0/7	2200	1100	700	700
CH3-11.22.7,0/10	2200	1100	700	1000
CH3-11.22.7,0/12	2200	1100	700	1250
CHO-14.28.9,0/7	2800	1400	900	700
CH3-14.28.9,0/10	2800	1400	900	1000
CH3-14.28.9,0/12	2800	1400	900	1250
CHO-18.36.12/7	3600	1800	1200	700
CH3-18.36.12/10	3600	1800	1200	1000
CH3-18.36.12/12	3600	1800	1200	1250
CHO-23.46.15/7	4600	2300	1500	700
CH3-23.46.15/10	4600	2300	1500	1000
CH3-23.46.15/12	4600	2300	1500	1250
CH3A-3,0.6,5.2,0/10	650	300	200	1000
CH3A-4,0.8,0.2,6/10	800	400	260	1000
CH3A-5,0.10.3,2/10	1000	500	320	1000
CH3A-6,5.13.4,0/10	1300	650	400	1000
CH3A-8,5.22.5,0/10	2200	850	501	1000

5.5 Основные параметры печей с выдвижным подом

Тип	Размеры рабочего пространства, мм			Температура применения, °C
	ширина	длина	высота	
СНОС-10.12.12/2	1000	1200	1200	200
СНОС-16.25.16/2,5	1600	2500	1600	250
СНОС-20.35.20/2,5	2000	3500	2000	250
СДО-10.12.5.12,5/3	1000	1250	1250	300
СДО-16.25.15/3	1600	2500	1500	300
СДО-10.12.5.10/5	1000	1250	1000	500
СДО-11.18.10/7	1100	1800	1000	700
СДО-25.90.18/7	2500	9000	1800	700
СДО-10.20.8/8	1000	2000	800	800
СДО-23.46.16/10	2300	4600	1600	1000
СДО-28.56.20/12	2800	5600	2000	1200
СДО-18.36.12/10	1800	3600	1200	1000

Элеваторные печи. Загрузку и выгрузку садки производят через нижний проем одним или несколькими перемещающимися подами. Сечение рабочего пространства печи (табл. 5.10) может быть цилиндрическим или прямоугольным. Перемещение пода осуществляется электромеханическим или гидравлическим приводом.

5.6. Основные параметры колпаковых печей

Тип	Размеры рабочего пространства, мм			Температура применения, °C
	ширина (диаметр)	длина	высота	

Печи цилиндрические

СГЗ-16.37.5/5	1600	—	3750	500
СГЗ-10.16/10	1000	—	1600	1000
СГЗ-16.25/10	1600	—	2500	1000

Печи прямоугольные

СГЗ-8.50.8/10	800	5000	800	1000
СГЗ-10.56.10/10	1000	5600	1000	1000

Печи-ванны. В ваннах нагрев садки производят ее погружением в специальную жидкость (расплав солей, металлов, масло и др.). Печи-ванны применяют для нагрева деталей при закалке, отпуске, нормализации, химико-термической обработке. Рабочая температура ванны определяется температурами плавления и парообразования среды. Наиболее распространены электрические ванны с наружным

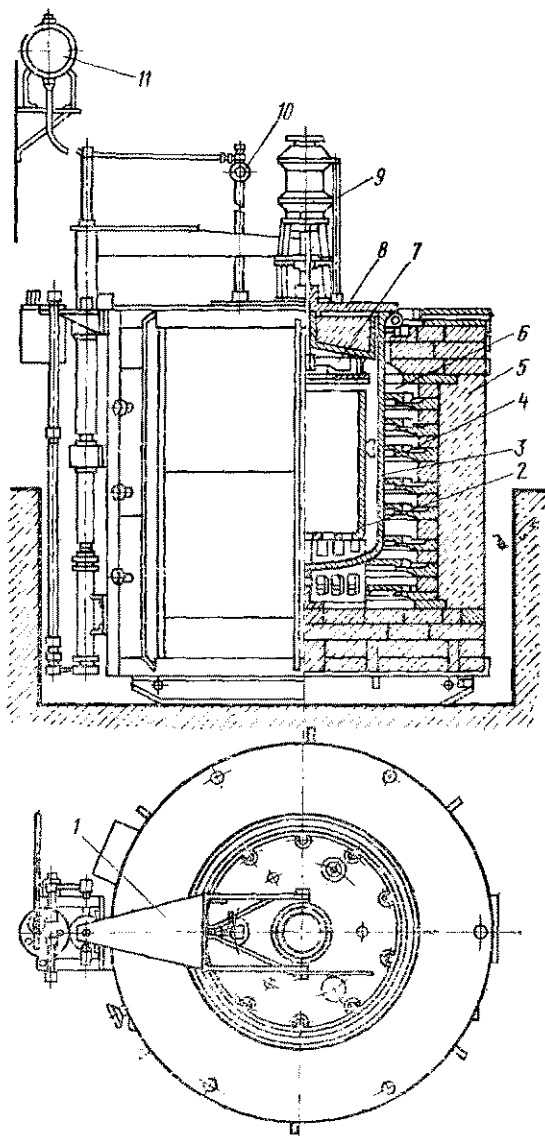


Рис 53. Схема шахтной цементационной печи.

1 — механизм подъема крышки, 2 — корзина с деталями, 3 — жароупорная реторта, 4 — нагревательные элементы, 5 — металлический корпус, 6 — нагревательная камера, 7 — вентилятор, 8 — крышка, 9 — трубка для вывода отработанных газов, 10 — клапан регулировки расхода газа, 11 — бачок.

5.7. Шахтные электропечи широкого назначения

Тип	Размеры рабочего пространства, мм		Температура применения, °С
	Диаметр	Высота	
СШО-2.4/3	200	400	350
СШО-2.4/7	200	400	700
СШЗ-2.4/10	200	400	1000
СШЗ-2.4/12	200	400	1250
СШО-4.8/3	400	800	350
СШО-4.4/3	400	400	350
СШО-4.8/7	400	800	700
СШО-4.4/7	400	400	700
СШЗ-4.8/10	400	800	1000
СШЗ-4.4/10	400	400	1000
СШЗ-4.8/12	400	800	1250
СШЗ-4.4/12	400	400	1250
СШО-6.12/3	600	1200	350
СШО-6.6/3	600	600	350
СШО-6.12/7	600	1200	700
СШО-6.6/7	600	600	700
СШЗ-6.12/10	600	1200	1000
СШЗ-6.6/10	600	600	1000
СШЗ-6.12/12	600	1200	1250
СШЗ-6.6/12	600	600	1250
СШО-10.20/3	1000	2000	350
СШО-10.20/7	1000	2000	750
СШЗ-10.20/10	1000	2000	1000
СШЗ-10.20/12	1000	2000	1250
СШО-10.10/3	1000	1000	350
СШО-10.10/7	1000	1000	700
СШЗ-10.10/10	1000	1000	1000
СШЗ-10.10/12	1000	1000	1250
СШО-15.30/3	1500	3000	350
СШО-15.30/7	1500	3000	750
СШЗ-15.30/10	1500	3000	1000
СШЗ-15.30/12	1500	3000	1250
СШО-25.25/3	2500	2500	350
СШО-25.25/7	2500	2500	700
СШЗ-25.25/10	2500	2500	1000
СШЗ-25.25/12	2500	2500	1250
СШО-40.40/3	4000	4000	350
СШО-40.40/7	4000	4000	700
СШЗ-40.40/10	4000	4000	1000
СШЗ-40.40/12	4000	4000	1250
СШО-60.60/3	6000	6000	350
СШО-60.60/7	6000	6000	700
СШЗ-60.60/10	6000	6000	1000
СШЗ-60.60/12	6000	6000	1250

5.8. Шахтные электроды¹ для газовой цементации

Тип	Размеры рабочего пространства, мм		Мощность, кВт
	диаметр	высота	
СНЦ-3.4/10	300	450	20
СНЦ-3.6/10	300	600	30
СНЦ-4.6/10	450	600	45
СНЦ-4.9/10	450	900	65
СНЦ-6 12/10	600	1200	110

¹ Температура применения 1050 °С.

5.9. Шахтные электроды¹ для газового азотирования

Тип	Размеры рабочего пространства, мм		Мощность, кВт	Максимальная масса загрузки, кг
	диаметр	высота		
США-2.3/6	200	300	12	50
США-3.2,4,8/6	320	480	20	150
США-5.7,5/6	500	750	50	400
США-8 12/6	800	1200	100	1200
США-12.5.20/6	1250	2000	150	2000
США-15.22,5/6	1500	2250	180	2500
США-20.30/6	2000	3000	220	3000
США-25.37,5/6	2500	3750	300	3500

¹ Максимальная температура применения 650 °С.

5.10. Основные параметры элеваторных печей для термической обработки

Тип	Размеры рабочего пространства, мм			Температура применения, °С
	ширина (диаметр)	длина	высота	
СЭЗ-30 55.20/7	3000	5500	2000	700
СЭЗ-16.10/10	1600	—	1000	1000
СЭЗ-16.16/7	1600	—	1600	700
СЭЗ-16.16/3	1600	—	1600	300

обогревом тигля (табл. 5.11) или электродные (табл. 5.12), широко используемые для термической обработки инструмента из быстрорежущей стали.

Низкотемпературные ванны предназначены для отпуска и охлаждения при ступенчатой или изотермической закалке. Рабочей средой

является масло или смесь солей с низкой температурой плавления. В растворы солей иногда добавляют воду для повышения закалочной способности.

Масляные ванны серии СВМ (СВМ-2,5,2,5/3, СВМ-3,5,5/3, СВМ-5,5/3 и др.) с трубчатыми нагревателями имеют рабочую тем-

5.11. Электрованны с наружным обогревом тигля

Тип	Мощность, кВт	Диаметр тигля, дм	Глубина тигля, дм	Вместимость тигля, дм ³
СВГ-10/8,5	10	2	3,5	10
СВГ-20/8,5	20	3	5,3	34
СВГ-30/8,5	30	4	5,5	60

5.12. Электродные ванны

Тип электродной ванны	Мощность, кВт	Число электродных групп	Температура применения °С
CBC-35-6,5	35	1	150—650
CBC-60/8,5	60		550—850
CBC-35/13	35		850—1300
CBC-35.2/6,5		2	160—650
CBC-35.2/8,5			550—850
CBC-60/13	60	1	850—1300
CBC-35.2/13	35	2	
CBC-100/13	100	1	
CBC-20/13	20		
CBC-100/8,5	100	3	550—850
CBC-100.2/13		2	850—1300
CBC-100.3/13		3	
CBC-100.8/13		8	

пературу 260 °С. В ваннах серии СВМ диаметром более 5 дм установлены дополнительные подовые нагреватели. В ваннах глубиной более 10 дм предусмотрены мешалки для перемешивания масла.

5.3. Печи непрерывного действия

Карусельные печи. Перемещение садки в них осуществляется на вращающемся кольцевом или тарельчатом поде. Скорость вращения

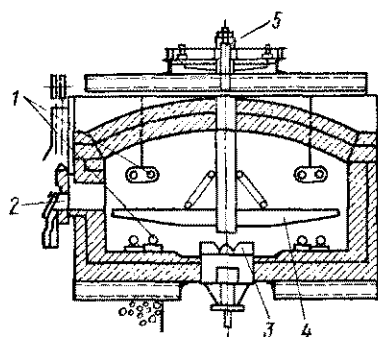


Рис. 5.4. Схема карусельной газовой печи с радиационными трубами:

1 — радиационные трубы. 2 — рабочее окно, 3 — вентилятор, 4 — вращающийся под, 5 — привод пода

пода обеспечивает нагрев деталей за один оборот. Загрузка и выгрузка деталей производятся через одно или несколько окон (рис. 5.4). Печи (табл. 5.13) используют для нагрева однотипных деталей цилиндрической формы. Нагрев — газовый или электрический, атмосфера — обычная печная или защитная.

Печи с шагающим подом. Используются для нагрева однотипных длинномерных деталей. Перемещение садки осуществляется путем шагающего движения одной или нескольких балок, располагающихся в продольных щелях по всей длине пода. Подвижные балки со-

вершают периодические движения (круговые А, по эллипсу Б или по прямоугольнику), поднимая и перемещая детали, лежащие на поду поперечно (рис. 5.5).

5.13. Основные параметры карусельных печей

Тип	Размеры рабочего пространства, мм			Температура применения, °С
	наружный диаметр	внутренний диаметр	высота	
САЗ-21.11.3/12	2100	2100	300	1200
САЗ-53.21.7/11	5300	5100	700	1100
САЗ-21.7.3/11	2100	2100	300	1100
САЗ-53.21.7/10	5300	5300	700	1000
САЗ-53.39.7/10	5300	5300	700	1000
САЗ-11.5.3/10	1100	1100	300	1000
САО-21.11.3/5	2100	2100	300	500

Рольганговые печи. Перемещение садки в печах (табл. 5.14) производится с помощью приводных поперечных роликов. В печах, предназначенных для отжига, имеются камеры охлаждения. Печи могут входить в агрегаты, состоящие из закалочной печи, механизированного закалочного бака, моечной машины, рольганговой печи для от-

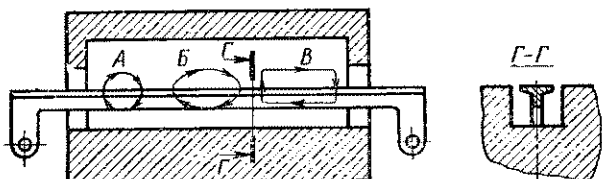


Рис. 5.5. Схема печи с шагающим подом

5.14. Основные параметры и назначение рольганговых печей

Тип	Размеры рабочего пространства, мм			Температура применения, °С
	ширина	длина	высота	
Печи для обработки длинномерных деталей				
СРО-8.100.4/12	800	10 000	400	1200
СРЗ-8.100.12/12	800	10 000	1200	1200
СРЗ-12.240.4/11	1200	24 000	400	1100
СРО-10.120.4/7	1000	12 000	400	700

Печи для нагрева под закалку колец подшипников и подобных деталей

СРЗ-6.70.2/9	600	7000	200	900
СРЗ-8.56.2/9	800	5600	200	900
СРЗ-10.70.4/9	1000	7000	400	900

Печи для отжига

СРО-10.80.4/10	1000	8000	400	1000
СРО-10.80.1/8	1000	8000	100	800

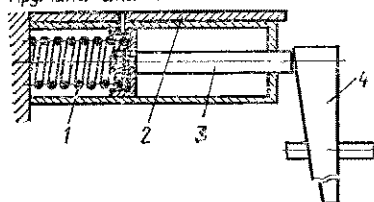
Печи для термообработки магнитопроводов

СРЗ-14.140.7/9	1400	14 000	700	900
СРЗ-14.80.6,5/9	1400	8 000	650	900
СРЗ-14.160.7/9	1400	16 000	700	900

Печи для низкого отпуска стальных деталей и отжига алюминиевых деталей

СРО-12.80.4/3	1200	8 000	400	300
СРО-12.160.10/3	1200	16 000	1000	300

Пружина сжата



Пружина отпущена

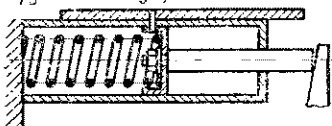


Рис. 5.6. Схема пульсирующего пода

пуска и камеры охлаждения. В таких агрегатах обеспечивается полная автоматизация процессов термической обработки.

Печи с пульсирующим подом. Перемещение садки происходит при пульсации пода, осуществляемой с помощью эксцентрикового механизма, штанга 3, связанная с подом 2, перемещается от кулачка-эксцентрика 4 (рис. 5.6). При медленном движении пода детали перемещаются вместе с ним. При быстром возвратном перемещении пода под действием пружины 1 детали по инерции остаются в прежнем положении. Печи используются для нагрева мелких деталей (табл. 5.15).

5.15. Основные параметры печей с пульсирующим подом

Тип	Размеры рабочего пространства, мм			Температура применения, °С
	ширина	длина	высота	
Печи для нагрева под закалку				
СИЗ-2.10.05/9	20	1000	50	900
СИЗ-4.20.1/9	400	2000	100	900
СИЗ-6.40.1/9	600	4000	100	900
СИЗ-8.40.1,5/9	800	4000	150	900
Печи для нормализации и неполного отжига				
СИЗ-6.40.1/7	600	4000	100	750
СИЗ-8.40.1,5/7	800	4000	150	750

5.16. Основные параметры барабанных печей

Тип	Размеры рабочего пространства, мм		Температура применения, °С
	диаметр	длина	
Печи для закалки			
СБЗ-2,5.12/9	250	1200	900
СБЗ-4.25/9	400	2500	900
Печи для цементации и нитроцементации			
СБЦ-6.25/10	600	2500	1000
СБЦ-6.35/10	600	3500	1000
СБЦ-6.25/10-2	600	2500	1000
СБЦ-6.35/10-2	600	3500	1000
Печи для отжига			
СБЗ-4.35/8-Х40	400	3500	800
СБЗ-6.35/8-Х40	600	3500	800
Печи для низкого отпуска			
СБО-6.12/3	600	1200	300
СБО-6.25/2	600	2500	200
Печи для высокого отпуска			
СБЗ-6.35/6	600	3500	600

Барабанные печи предназначены для термической или химико-термической обработки мелких деталей массой от 0,3 кг (табл. 5.16). Садка перемещается вращающимся шнеком или барабаном.

Толкательные печи. Перемещение садки в печах (табл. 5.17) осуществляется в технологической таре проталкиванием ее через ка-

5.17. Толкательные печи непрерывного действия

Тип	Установленная мощность, кВт	Максимальная пропускная способность, кг/ч
Низкотемпературные		
СТО-6.35.4/3	35—45	300
СТО-6.48.5/3	45—55	450
СТО-12.48.4/3	90—110	900
СТО-12.105.4/3	150—170	1800
Среднетемпературные		
СТО-8.48.6/5	80—110	200
СТО-16.70.6/5	200—240	600
СТЗ-6.35.4/7	70—90	300
СТЗ-6.48.4/7	100—130	450
СТЗ-12.48.4/7	190—200	900
СТЗ-12.105.4/7	290—320	1800
СТО-6.48.4/7	100—130	450
СТО-12.48.4/8	190—200	900
Высокотемпературные		
СТЗ-6.24.4/10	90—120	300
СТЗ-6.35.4/10	140—170	450
СТЗ-12.35.4/10	250—290	900
СТЗ-12.70.4/10	500—560	1800
СТЗ-8.70.4/10	210—240	500
СТЗ-16.105.4/10	520—580	1500
СТЗ-6.35.4/10	140—170	450
СТЗ-12.48.4/10	340—380	1200
Высокотемпературные цементационные		
СТЦ-6.70.4/11	200—240	450
СТЦ-6.95.4/11	250—300	600
СТЦ-12.70.4/11	350—400	900
СТЦ-12.105.4/11	500—550	1200

меру нагрева. Перемещение на шаг производится через определенный промежуток времени исходя из необходимой продолжительности пребывания деталей в печи. Печи используют в крупносерийном и массовом производстве для различных видов обработки (см. табл. 5.3). Толкательные печи (рис. 5.7) могут быть многокамерными и применяться для выполнения одновременно нескольких операций, например улучшения (закалки и высокого отпуска).

Конвейерные печи. Перемещение садки осуществляется с помощью цепного, ленточного, пластинчатого или сетчатого конвейера. Конвейер движется по направляющим, уложенным на поду печи. Печи (табл. 5.18) выпускаются с различными атмосферами и пригод-

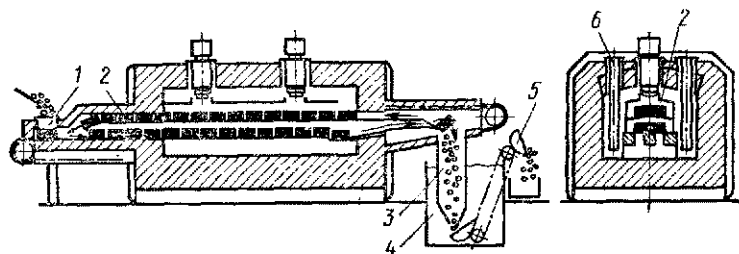


Рис. 5.7. Схема толкательной печи для обработки нормалей:

1 — загрузочная позиция, 2 — поддоны, 3 — рукав, 4 — закалочный бак, 5 — устройство транспортировки из закалочного бака, 6 — радиационные трубы

5.18. Основные параметры конвейерных печей

Тип	Размеры рабочего пространства, мм			Температура прижигания, °С
	ширина	длина	высота	

Печи для нагрева под закалку

СКЗ-4.20.1/9	400	2000	100	900
СКЗ-4.30.1/9	400	3000	100	900
СКЗ-6.30.1/9	600	3000	100	900
СКЗ-8.40.1/9	800	4000	100	900
СКЗ-10.40.1/9	1000	4000	100	900
СКЗ-10.70.1/9	1000	7000	100	900

Печи для нитроцементации

СКЦ-4.30.1/9	400	3000	100	900
СКЦ-6.30.1/9	600	3000	100	900

Печи для высокого отпуска

СКЗ-4.20.1/7	400	2000	100	700
СКЗ-4.30.1/7	400	3000	100	700
СКЗ-6.30.1/7	600	3000	100	700
СКЗ-8.40.1/7	800	4000	100	700
СКЗ-10.40.1/7	1000	4000	100	700
СКЗ-10.70.1/7	1000	7000	100	700

Печи для низкого отпуска

СКО-8.35.4/3	800	3 500	400	350
СКО-8.55.4/3	800	3 500	400	350
СКО-12.55.4/3	1200	5 500	400	350
СКО-12.75.4/3	1200	7 500	400	350
СКО-14.75.4/3	1400	7 500	400	350
СКО-14.100.4/3	1400	10 000	400	350

ны для ряда операций термической и химико-термической обработки. В закалочных печах используют цепной, ланцирный или пластинчатый конвейеры, в отпускных — цепной, пластинчатый или сетчатый.

5.4. Агрегаты для термической и химико-термической обработки

Агрегат включает несколько установок для выполнения различных операций (табл. 5.19), связанных общим технологическим цик-

5.19. Процессы комплексной термической обработки¹, проводимые в агрегатах непрерывного действия

Термическая обработка	Тип агрегата						
	конвейерный	толкательный	рольгантовый		барабанный	с пульсирующим подом	протяжной
			без поддонов	с поддонами			
Свободная закалка в масле или воде с отпуском	+	+	+	+	+	+	+
То же, с закалкой в растворе солей	+	—	—	—	+	+	—
Закалка в прессе, отпуск	—	+	+	—	—	—	—
Нитроцементация с закалкой в масле, отпуск	+	+	—	—	+	+	—
То же, но с закалкой в растворе солей	+	—	—	—	+	+	—
Цементация с охлаждением в масле, воде или газе, отпуск	—	+	—	—	+	—	—
Нормализация и отжиг	+	+	+	+	—	+	+
Отжиг чугунного литья	—	+	—	+	—	—	—

¹ Знак «+» обозначает применение агрегатов для указанного процесса.

лом, с автоматической подачей заготовок от одной установки к другой в последовательности, определяемой технологическим процессом. В состав агрегата может входить не только термическое, но и другое технологическое оборудование (например, для гибки, правки, мойки). Созданы агрегаты для термической обработки мелких деталей (табл. 5.20), а также для определенных изделий массового производства — подшипников, инструментов (рис. 5.8) и др. Для химико-термической обработки используют агрегаты типа СТЦА (цементация и нитроцементация), в состав которых входят: цементационная печь, закалочный бак, моечная машина, отпускная печь.

5.20. Конвейерные закалочные и отпускные электропечные агрегаты

Тип агрегата	Производи- тельность агрегата, кг/ч	Тип электропечей агрегата	
		закалочная	отпускная
СКЗА-1/3	50—80	СКЗ-02.20.01/9	СКО-03.35.04/3
СКЗА-1/7	50—80	СКЗ-02.20.01/9	СКЗ-02.20.01/7
СКЗА-2/3	100—160	СКЗ-04.20.01/9	СКО-06.35.04/3
СКЗА-2/7	100—160	СКЗ-04.20.01/9	СКЗ-04.20.01/7
СКЗА-3/3	150—240	СКЗ-04.30.01/9	СКО-08.35.04/3
СКЗА-3/7	150—240	СКЗ-04.30.01/9	СКЗ-04.30.01/7
СКЗА-4/3	225—360	СКЗ-06.30.01/9	СКО-08.55.04/3
СКЗА-4/7	225—360	СКЗ-06.30.01/9	СКЗ-06.30.01/7
СЗА-5/3	300—480	СКЗ-08.30.01/9	СКО-12.55.04/3
СКЗА-5/7	300—480	СКЗ-08.30.01/9	СКЗ-08.30.01/7
СКЗА-6/3	400—640	СКЗ-08.40.01/9	СКО-12.75.04/3
СКЗА-6/7	400—640	СКЗ-08.40.01/9	СКЗ-08.40.01/7
СКЗА-7/3	500—800	СКЗ-10.40.01/9	СКО-14.75.01/3
СКЗА-7/7	500—800	СКЗ-10.40.01/9	СКЗ-10.40.01/7
СКЗА-8/3	700—1100	СКЗ-08.70.01/9	СКО-16.95.04/3
СКЗА-8/7	700—1100	СКЗ-08.70.01/9	СКЗ-08.70.01/7
СКЗА-9/3	1000—1700	СКЗ-12.70.01/9	СКО-20.115.04/3
СКЗА-9/7	1000—1700	СКЗ-12.70.01/9	СКЗ-12.70.01/7
СКЗА-10/3	1500—2400	СКЗ-12.100.01/9	СКО-20.155.04/3
СКЗА-10/7	1500—2400	СКЗ-12.100.01/9	СКЗ-12.100.01/7

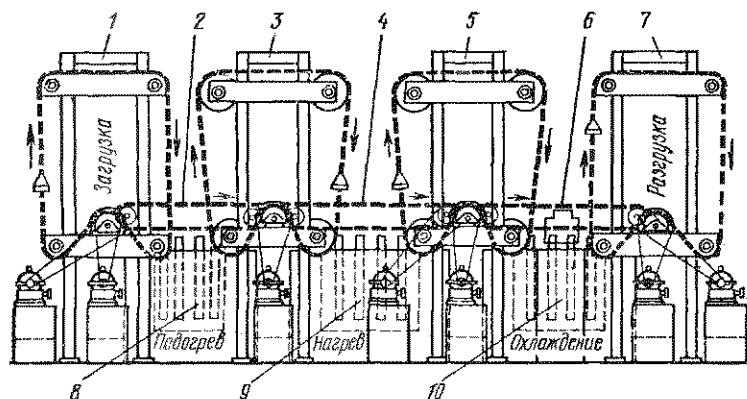


Рис. 5.8. Схема конвейерного агрегата для закалки инструмента из быстрорежущей стали:

1—7 — конвейеры, 8—10 — печи-ванны

5.5. Вакуумные печи и печи аэродинамического подогрева

Вакуумные печи. Используют для отжига, закалки, химико-термической обработки; могут иметь наружный или внутренний обогрев. В печах с наружным нагревом рабочая температура не превышает 1100°C ; в печах с внутренним обогревом она может быть выше 2000°C .

По режиму работы вакуумные печи делятся на периодического действия, в которых загрузка и выгрузка садки связаны с потерей вакуума (давление в печи поднимается до атмосферного); полунепрерывного действия, где загрузка и выгрузка осуществляются без нарушения вакуума, режим нагрева аналогичен режиму в печах периодического действия; непрерывного действия, загрузку и выгрузку в которых осуществляют непрерывно или порциями без нарушения вакуума.

Конструктивно вакуумные печи периодического и полунепрерывного действия выпускаются камерными (муфельными и безмуфельными), шахтными, элеваторными и колпаковыми, а непрерывного действия — толкательными, с шагающим подом, толкательно-рольганговые, многокамерные с протяжной тележкой, протяжные. Ряд печей имеет системы принудительного охлаждения в газовой среде или масле. Такие печи могут быть однокамерными (рис. 5.9) или двух-

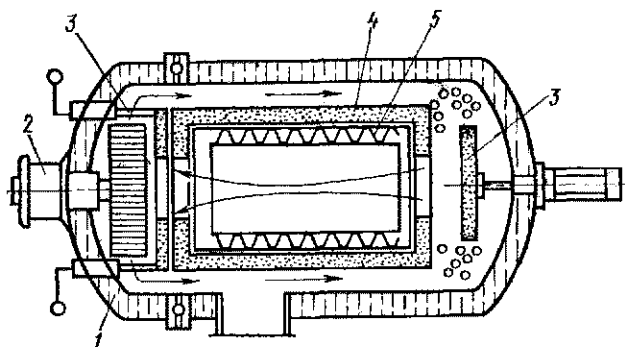


Рис. 5.9. Схема однокамерной вакуумной печи:
1 — рубашка водоохлаждения, 2 — вентилятор, 3 — крышки, 4 — теплоизоляция, 5 — нагреватель

камерными (рис. 5.10). В двухкамерных печах имеется возможность более резкого охлаждения, так как газ охлаждает только садку деталей, а не всю камеру. Вакуумные печи (табл. 5.21) работают в автоматическом режиме.

5.21. Вакуумные печи

Тип	Размеры рабочего пространства, м			Остаточное давление, Па
	диаметр или ширина	длина	высота	
Низкотемпературные				
СЭВ-3.3/11,5ФМ2 ¹	0,3	—	0,3	10 ⁻¹
СЭВ-5,5/11,Ф ²	0,5	—	0,5	
СНВ-5.10.5/11,5Ф ³		1		
СНВ-5.15.5/11,5		1,5		
СШВ-3,8/9Э	0,3	—	0,8	10 ⁻²
СНВ-22.90.4,5/9Э	2,2	9	0,45	10 ⁻¹
ОКБ-137А	0,27	—	—	—
СШВ-3.100/9	0,30	—	10	10 ⁻²
ОКБ-8039 ⁴	0,3	—	0,7	10 ⁻⁷
Среднетемпературные				
СШВ-3.3/13Г ²	0,3	—	0,3	10 ⁻¹
СНВ-3.6.3/13Г ¹		0,6		
СГВ-2.4/15	0,2	—	0,4	10 ⁻²
СНВ-1.3.1/16Э	0,1	0,3	0,1	
СЭВ-8.8/16ЭМ1	0,8	—	0,8	10 ⁻³
СШВ-15.15/13ЭМ2	1,5	—	1,5	10 ⁻²
СЭВ-5.10/13Э ⁴	0,5	—	1	6·10 ⁻⁵
Высокотемпературные				
СШВ-1.2,5/25ЭМ1	0,1	—	0,25	10 ⁻²
СЭВ-1,2/22Э ⁴	0,1	—	0,2	10 ⁻⁶
СЭВ-2,5,5/22Э ⁴	0,25	—	0,5	10 ⁻⁶
СШВ-2.20/20	0,2	—	2	10 ⁻²
СЭВ-3.6/22ГМ3	0,3	—	0,6	
СЭВ-8,8/22МО2	0,5	—	0,5	

¹ Возможна закалка в масле и газе. ² Возможна закалка в газе. ³ Возможна закалка в масле. ⁴ Сверхвысоковакуумная.

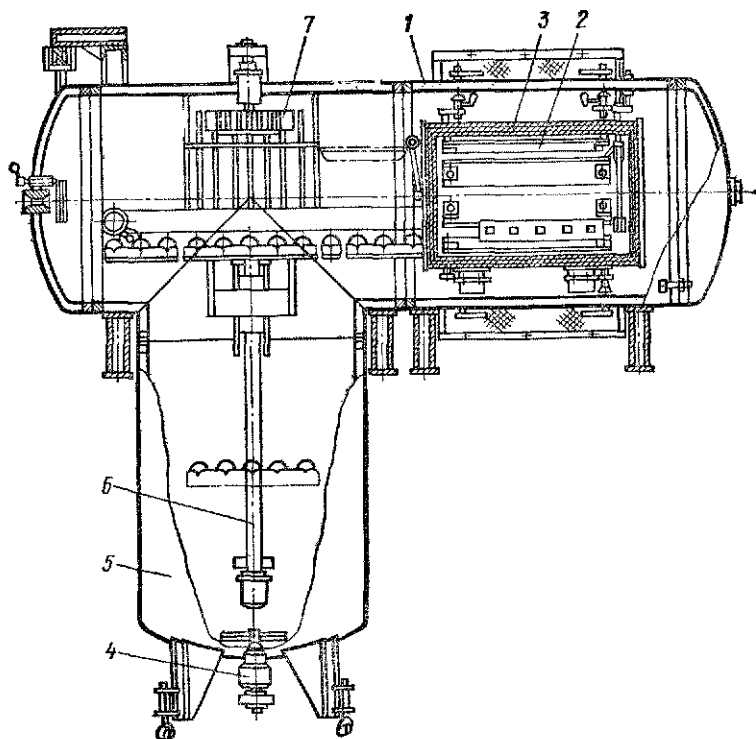


Рис. 5.10. Схема двухкамерной вакуумной печи:

1 — кожух нагревательной камеры, 2 — нагреватель, 3 — футеровка, 4 — механизм перемешивания масла, 5 — закалочный бак, 6 — механизм опускания садки, 7 — вентилятор

Печи аэродинамического подогрева. Они имеют принципиально иной, чем в других печах, способ нагрева: вентилятор создает поток воздуха или газа и движет его с большой скоростью в замкнутом объеме, в результате чего и происходит разогрев. Передача теплоты

5.22. Печи¹ аэродинамического подогрева

Тип	Рабочая температура, °С	Размеры рабочего пространства, мм		
		ширина	длина	высота
ПАП-3М	500	300	1100	1400
ПАП-9		1500		1100

¹ Число рабочих камер — 1.

осуществляется за счет конвекции, что обеспечивает высокую равномерность температуры по всему рабочему объему ($\pm 1 \div 3^\circ\text{C}$). Предельная температура — около 500°C . Печи (табл. 5.22) используют для закалки изделий из цветных сплавов и отпуска стальных изделий.

5.6. Печи для ионного азотирования в тлеющем разряде

Установка для ионного азотирования (рис. 5.11) независимо от типа (табл. 5.23) и конструкции состоит из следующих функциональных систем: анода, катода, электропитания, газоснабжения, вакуумной,

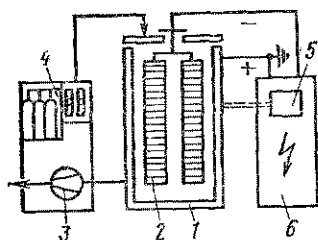


Рис. 5.11. Схема установки для ионного азотирования:

1 — герметизированный вакуумный контейнер (анод), 2 — обрабатываемые детали (катод), 3 — вакуумная система, 4 — газобаллонная станция, 5 — приборы контроля и регулирования температуры, 6 — блок электропитания

измерения и регулирования температуры. Нагрев осуществляется за счет бомбардировки изделия в электростатическом поле ионами диффундирующего элемента (азота). Изделие, входит в систему катода и имеет отрицательный заряд. Температура определяется непосредственно на изделии или на образце-свидетеле с помощью термопары. Ионное азотирование выполняют в две стадии: очистка катодным распылением (5—50 мин; 1100—1400 В, 13—26 Па) и собственно азотирование ($470\text{—}580^\circ\text{C}$, 400—1100 В, 130—1300 Па, 1—24 ч). Садка формируется одинаковыми или однотипными деталями, чтобы обеспечить одинаковые свойства слоев.

5.23. Установки¹ для ионного азотирования

Тип	Размеры рабочего пространства, мм		Масса садки, кг
	диаметр	высота	
НГВ-6.6/6-И1	600	600	50
ОКВ-1566	960	1200	500
НШВ-20.24/6-И1	2000	2400	2500
НШВ-28.7/6-И1	2800	700	1000

¹ Число рабочих камер для ОКВ-1566—2, для остальных — 1.

5.7. Нагреватели термических печей

Газовые нагреватели. Используют преимущественно нагреватели, размещенные в радиационных трубах (прямых, U-образных, W-об-

разных). Для повышения равномерности нагрева на прямоточных трубах (рис. 5.12) делают вмятины, а также используют рассекатели пламени в виде подвесных гирлянд. Использование рекуперационных и рециркуляционных труб (рис. 5.13) позволяет устранить газовые пробки и поднять кпд до 70 %.

Электрические нагреватели. В электрических печах применяют нагреватели из сплавов высокого омического сопротивления, неметаллических материалов (карбида кремния, графита, угля, дисилицида молибдена и др.), тугоплавких металлов.

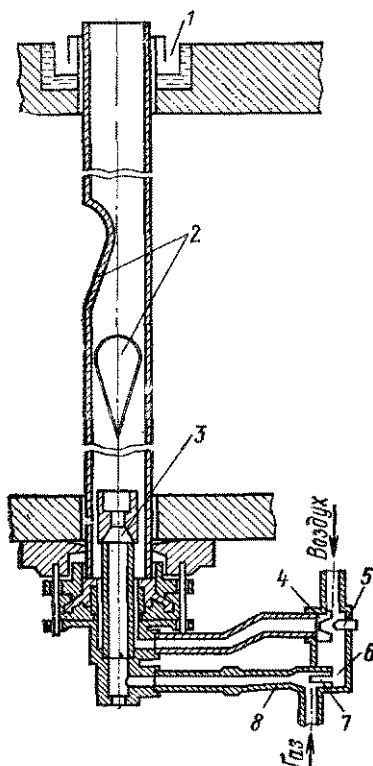
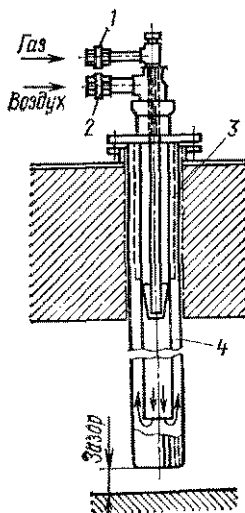


Рис. 5.12. Вертикальная радиационная труба:

1 — песчаница, 2 — вмятины, 3 — горелка, 4 — воздушное сопло, 5 — регулирующий винт, 6 — воздушная коробка, 7 — воздушное сопло, 8 — нижектор

Рис. 5.13. Тупиковая одинарная рекуперационная и рециркуляционная труба:

1 — регулятор газа, 2 — регулятор воздуха, 3 — рекуператор, 4 — радиационная труба



Металлические нагреватели выполняют в виде проволоки, ленты, листа, а также закрытые в трубках. Проволочные нагреватели изготовляют в виде спиралей или зигзагов из проката малого диаметра, подключают к сети в основном без применения понижающих трансформаторов; ленточные — выполняют в виде зигзагов, а листовые из гофрированного листа толщиной 1—3 мм, для их питания необходимы понижающие трансформаторы; закрытые на-

греватели (рис. 5.14) применяют в печах с рабочей температурой около 1000 °С, когда требуется защитить нагреватель от механических повреждений или воздействия агрессивных (например, цементационных) сред.

Неметаллические нагреватели из дисилицида молибдена (табл. 5.24) предназначены для работы в окислительной атмосфере при 1600 °С; в восстановительной атмосфере или вакууме допустимая температура меньше.

Карборундовые нагреватели предназначены для печей с рабочей температурой до 1350 °С. Нагреватели устойчиво работают в обычной печной атмосфере; в восстановительных средах

5.24. Параметры нагревателей¹ из дисилицида молибдена

Длина выводов, мм, при длине рабочей части, мм							
100	150	180	200	225	250	315	400
У-образные ²							
—	150, 230, 300, 400, 500	150, 185, 250, 300, 350, 400, 500	200, 350	560	185, 250, 300, 350, 400	185, 250, 300, 300, 400, 500	250, 400, 500
Прямые							
150	150	150, 185, 250	200, 250, 350	—	185	—	250

¹ Обозначение: СМ 315/400 — нагреватель из дисилицида молибдена, длина рабочей части 315 мм, длина вывода 400 мм. ² Для U-образных показывается развернутая длина рабочей части.

5.25. Характеристика трубчатых нагревателей

Мощность, кВт	Напряжение, В	Размеры, мм (см, рис. 5.15)			
		D	A	B	B

Для нагрева и плавления селитры и щелочей

1,5—8	220, 390	16; 18	700—2700	200—1680	30; 35
-------	----------	--------	----------	----------	--------

Для нагрева воды, слабых растворов солей, щелочей, кислот

0,4—15,0	36, 110, 127, 220, 380	10, 13, 16	200—1378	30—1815	—
----------	------------------------------	------------	----------	---------	---

Для нагрева минеральных масел

0,2—10,5	36, 110, 220, 380	13, 16	250—1605	40—1478	—
----------	----------------------	--------	----------	---------	---

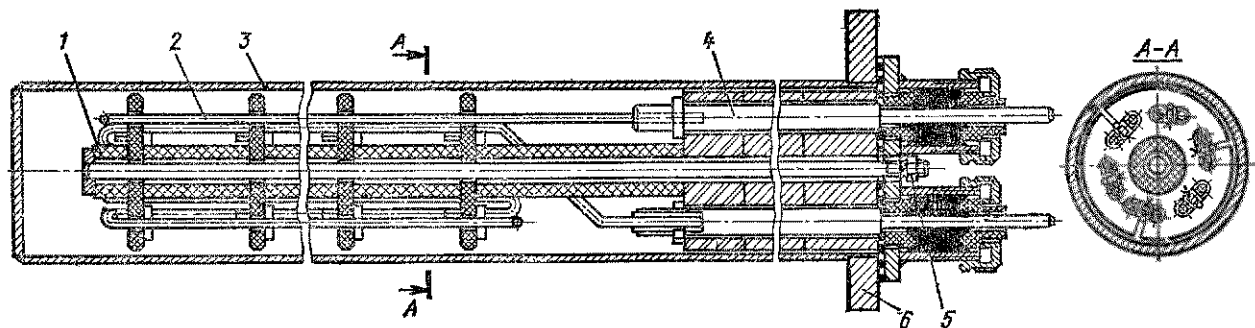


Рис. 5.14. Закрытый электронагреватель в радиационной трубе:
1 — изоляторы, 2 — нагреватель, 3 — радиационная труба, 4 — вывод нагревателя, 5 — стяжная шпилька, 6 — фланец

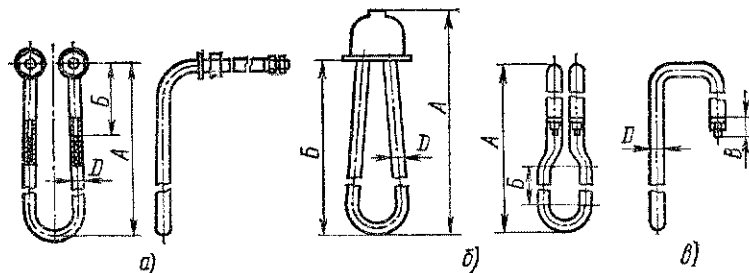


Рис. 5.15. Трубчатый электронагреватель (ТЭН):
а, в — для плавления и нагрева селитры и щелочей, б — для нагрева воды и масел

допустимая температура снижается. Нагреватели изготавливают в виде стержней с утолщенными концами и спиральных труб. Промышленностью выпускается большая номенклатура карборундовых нагревателей типов: КЭН А — трубчатые с утолщенными выводами; КЭН Б — сплошные, с выводами, пропитанными сплавом металлов; КЭН БС — сплошные с приставными выводами, пропитанными сплавом металлов; КЭН ВП — трубчатые с выводами, пропитанными легированным кремнием.

Трубчатые электронагреватели (ТЭН) представляют собой металлические оболочки, внутри которых в электроизоляционном наполнителе запрессованы нагревательные элементы сопротивления, обычно в виде спирали с выводами ТЭНы (рис. 5.15) используют в охлаждающем или отпусчном оборудовании (табл. 5.25).

5.8. Оборудование для охлаждения

Закалочные баки. Изготавливают немеханизированными и механизированными со следующей индексацией: 101 — немеханизированные, 201 — механизированные с электроприводом и корзиной, 212 — механизированные с электроприводом и опрокидываемым лотком, 221 — механизированные с пневмоприводом и корзиной, 222 — механизированные с пневмоприводом и опрокидываемым лотком, 223 — механизированные с пневмоприводом и столом. Баки большого объема (более 1 м³) снабжены устройствами для принудительного перемещения воды или масла. Баки без принудительного охлаждения закалочной жидкости используют для закалки деталей малых размеров.

Все баки снабжают сеткой для сборки и удаления окалины. Масляные баки дополнительно оснащают средствами пожаротушения: системой автоматического пожаротушения газом (азотом, углекислым) при размерах до 630×800 мм; при больших размерах — огнезащитными клапанами, а также устройствами для отсоса воздуха.

В агрегатах используют специальные автоматические закалочные баки, например конвейерные.

Оборудование для обработки холодом. Низкотемпературные установки выпускают в виде термокамер (ТК) или термобарокамер (ТБК) в комплекте с холодильной машиной и приборами автоматического регулирования.

Термокамеры (табл. 5.26) изготавливают двух типов: сундучковые с загрузкой сверху (ТКСИ) и шкафные (ТКСШ). Некоторые модели установок оснащены электронагревателями, которые позволяют поддерживать температуру до +150 °С. Термобарокамеры имеют вакуумные установки, обеспечивающие вакуум до 260 Па.

Помимо стандартных изготавливают специальные термокамеры на базе отдельно поставляемых агрегатов ФДС-0,3А; ФДС-1,2; ФДС-2,5 (табл. 5.27), работающих на фреоне и обеспечивающих минимальную температуру до —70 °С.

5.26. Характеристика холодильных установок

Тип ¹	Температура, °С	Внутренние размеры, мм	Полезный объем, м ³
ТКСИ-0,1-70	-70 — +100	450×600 ×350	0,1
ТКСИ-0,2-80	-80 — +20	600×1050×350	0,2
ТКСИ-0,15-100	-100 — +100	540×540 ×540	0,15
ТКСИ-1-100	-100 — +155	1000×1000×1000	1
ТБК-0,15-70	-70 — +100	540×540 ×540	0,15
ТБК-0,4-70А	-70 — +100	730×730 ×730	0,4

¹ В обозначении: первая цифра — полезный объем; вторая — минимальная температура.

5.27. Характеристика низкотемпературных холодильных установок для термокамер, изготавливаемых потребителем

Тип	Температура, °С	Мощность, кВт
ФДС-0,3А	-20 — 70	5,6
ФДС-1,2-70В	-65 — +100	6,05
ФДС-2,5-70В	-70 — +25	5,85
СФДС-04-70В	-65 — +25	—

5.9. Оборудование для правки

Для правки деталей после термической обработки применяют ручные, механические и гидравлические (табл. 5.28) прессы. Рихтовку выполняют обычными слесарными молотками на правильных плитах. Во избежание получения забоин используют медные молотки.

5.28. Гидравлические прессы для правки деталей

Тип пресса	Номинальное усилие, кН	Размеры стола, мм	Габаритные размеры, мм	Мощность, кВт
П6320	100	1250×300	1250×1982	3
П6324	250	1600×300	1600×2235	7,5
П6326	400	1600×360	1600×2340	17,0
П6328	650	1600×360	1600×2342	22,0
П6330	1000	2000×420	2000×2700	
П6332	1600	2000×500	2000×3060	44,0
П6334	2500	2500×600	2500×3070	

Правильные плиты изготавливают из чугунных отливок толщиной 80—100 мм, размерами 700×1200 или 800×1500 мм.

Контроль операций правки деталей типа тел вращения производят индикаторами при их вращении в оправке, плоских деталей — шупом на точных шлифованных плитах.

5.10. Установки для получения контролируемых атмосфер

Характеристика атмосфер приведена в п. 7.1; характеристика установок — в табл. 5.29.

5.29. Установки для приготовления контролируемых атмосфер

Тип	Наименование атмосферы	Производительность, м³/ч	Расход газа, м³/ч	Габаритные размеры, мм
ЭН-16М02	Эндогаз	16	3,3	1300×1050×2135
ЭН-16ГМ03				1500×1250×2135
ЭН-30М2		30	6,2	2835×1600×3090
ЭН-60М1		60	12,4	2835×1600×3090
ЭН-60ГМ1				3000×1685×3090
ЭН-125М2		125	25,6	2030×1750×3340
ЭН-250ГМ3		250	51,2	3150×2500×3820
ЭК-8М1 ЭК-60М1 ЭК-125М03 ЭК-250М2		8 60 125 250	0,94—1,14 7,0—8,6 14,7—17,9 29,4—35,7	1170×1010×2205 2900×1250×2300 3800×1650×2660 4700×1850×2250
ЭК-8М2 ЭК-60М2	Эндогаз	8 60	0,94—1,14 7,0—8,6	2210×1370×2205 2900×3650×2405

Тип	Наименование атмосферы	Производительность, м ³ /ч	Расход газа, м ³ /ч	Габаритные размеры, мм
ЭК-80М2 ЭК-1250М2	Экзогаз	8 125	1,07—1,23 16,7—19,2	5000×2400×1600 10 200×4000×3200
ДА-30С ДА-60С	Диссоциированный аммиак с дожиганием	30 60	7,6 кг/ч 15,2 кг/ч	3400×3400×2030 4200×3810×2600
ОКБ-1174	Диссоциированный метанол	2	0,95 кг/ч	1780×1220×1945
ВО-6	Очищенный водород	6	6	906×850×2150
АЗ-6М1	Очищенный азот	6	6	1650×1200×1800
АЗ-125М1		125	110—120	5300×3900×2500
ИО-6М2	Очищенный аргон	6	6	2800×1900×1200
1ЭН-62/ЭК-62	Эндогаз	62,5	13	3500×2250×2740
	Экзогаз		7	

5.11. Автоматизация и механизация технологических процессов термической обработки

Автоматизация термической обработки достигается автоматическим регулированием параметров процесса (см. п. 6), а также применением агрегатов (см. п. 5.4) или промышленных роботов (табл. 5.30). Роботы могут быть использованы для обслуживания ванн, печей, закалочных баков, а также при очистке и других вспомогательных операциях. На рис. 5.16 представлена схема роботизированного участка для закалки в прессах деталей типа колец, дисков.

5.30. Характеристика промышленных роботов

Показатель	Тип					
	ПР-35	УМ-1	УМ-1Г	«Универ- сал» 50 М»	УМ-1П	ПР-104
Линейное перемещение руки, мм: по вертикали	2300	760	580	900	580	200
	—		700			600
Грузоподъемность, кг	12	10	10	50	10	10
Поворот кисти вокруг продольной и вертикальной осей, град	220	180	—	340	—	—
Точность позиционирования, мм	$\pm 1,25$	± 2	± 2	± 3	± 2	$\pm 0,1$

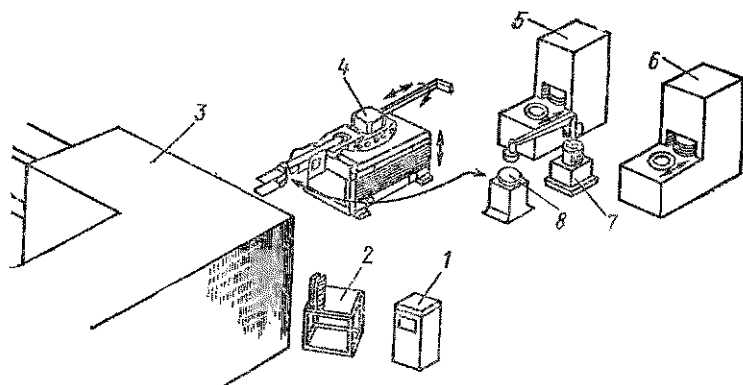


Рис. 5.16. Схема роботизированного участка термообработки:
1 — пульт управления, 2 — стол, 3 — печь, 4 — робот, 5—6 — закалочные прессы, 7 — автооператор, 8 — приемная позиция

Механизация технологических процессов. Для подъема и перемещения деталей или садов используют электротали и электротельферы, мостовые краны и краны других конструкций, а также пневматические и электрические подъемники (табл. 5.31).

5.31. Характеристика пневматических подъемников

Грузоподъемность, кг	Давление, МПа	Расход воздуха, м³, на один подъем при высоте подъема, мм		
		1200	1500	1800
185	0,3	0,07	0,09	0,1
235	0,4			
300	0,5			
365	0,6			
420	0,7			

6. СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ

6.1. Приборы для контроля процессов термической и химико-термической обработки. Первичные преобразователи

Эти устройства непосредственно воспринимают параметры контролируемого объекта (температуру, давление, расход жидкости и газа, состав атмосферы). Приборы, в которых имеется возможность передачи сигнала, могут быть использованы в системах автоматического регулирования (рис. 6.1) в качестве первичных преобразователей — датчиков *Д*. В преобразователе *П*, сигнал датчика преобразуется в электрический или механический и подается на вторичный прибор *ЭС* с задающим устройством *ЗУ*, где задан сигнал, соответствующим значению регулируемого параметра. При различии поданного и заданного сигналов вырабатывается новый сигнал — рассогласования, который подается в регулирующее устройство *Р*, усиливается источником энергии *ИЭ* и приводит в действие исполнительный механизм *ИМ*. Последний через механическую систему непосредственно воздействует на регулирующий орган. Преобразователи Государственной системы промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП) выдают нормированный выходной сигнал (например, электрические — токовый сигнал 0—5 или 0—20 мА). В этом случае, если используют приборы, в которых нет передачи сигнала, процесс регулируется непосредственно рабочим.

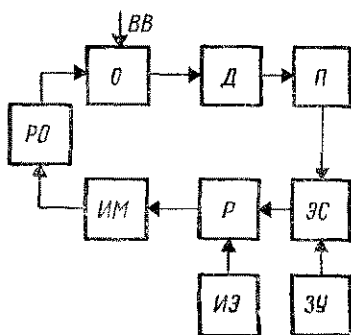


Рис. 6.1. Блок-схема системы автоматического регулирования

Контроль температуры. Измерение температуры при термической обработке осуществляют контактным или бесконтактным способами. При контактном используют термометры и термопары; при бесконтактном — пирометры. Измерение температуры этими приборами основывается на различных физических законах и явлениях (табл. 6.1).

Ориентировочно температуру нагретого изделия можно определить по цветам кадения (свечения) или по цветам побежалости — тонким пленкам окислов различных цветов, которые образуются на полированной поверхности при нагреве до 150—600 °С (табл. 6.2).

Жидкостные термометры. Жидкостные стеклянные термометры

6.1. Приборы для контроля температуры

Прибор	Физическое явление в основе действия прибора	Пределы измерения температуры, °С	
Жидкостные термометры	Изменение объема жидкости при изменении температуры	—200	+500
Манометрические термометры	Изменение давления в замкнутой системе вследствие изменения объема жидкости, пара, газа при колебаниях температуры	—50	+500
Термоэлектрические пирометры (термопары)	Возникновение электродвижущей силы при разных температурах спаев разнородных электродов	—50	+2000
Термометры сопротивления	Изменение электросопротивления проводника при изменении температуры	—200	+500
Пирометры излучения: оптические	Изменение яркости нагретого тела при изменении температуры	+800	Св. 2500
радиационные	Изменение полной величины энергии, излучаемой нагретым телом при изменении температуры	+400	+4000

6.2. Цвета каления и побежалости на углеродистой стали

Цвет	Температура, °C	Цвет	Температура, °C
Цвета каления		Цвета побежалости	
Начало свечения	530—580	Светло-желтый	220
Темно-красный	580—650	Желтый	230
Темно-вишневый	650—720	Темно-желтый	240
Вишневый	720—780	Коричневый	255
Светло-вишневый	780—830	Коричнево-красный	265
Красный	830—900	Фиолетовый	285
Светло-красный	900—1050	Темно-синий	295—310
Желтый	1050—1150	Светло-синий	315—325
Светло-желтый	1150—1250	Серый	330
Белый	1250—1300 и более		

имеют высокую точность измерения, не требуют дополнительной аппаратуры и источников питания, но не обеспечивают передачу показаний на расстояние, что исключает их использование в системах автоматического регулирования.

Ртутные термометры разделяют на палочные, у которых шкала нанесена непосредственно на капиллярную трубку, и с вложенной шкалой (табл. 6.3). Здесь шкала нанесена на плоскую пластину, помещенную за капиллярной трубкой.

Манометрические термометры. Рабочим веществом этих термометров (см. табл. 6.1) может быть газ (азот), жидкость (ртуть), пар и жидкость (эфир, спирт, сероуглерод).

Показания этих термометров (рис. 6.2) могут передаваться на расстояние, т. е. их можно встраивать в регулирующие системы. Однако, они ненадежны из-за малой прочности капиллярных трубок.

6.3. Техническая характеристика термометров с вложенной шкалой.¹

Шкала, °C		Длина рабочей части ² , мм	Шкала, °C		Длина рабочей части ² , мм
от	до		от	до	
0	+50	85	0	+300	330
0	+100	130	0	+350	430
0	+150	180	0	+400	530
0	+200	230	0	+500	1000
0	+250	280			

¹ Термометры изготовляют прямые и изогнутые под углом 90, 120 и 135°, используют для измерения температуры в закалочных баках и отпускных ваннах. ² Длина верхней (непогружаемой) части у прямых — 200, у изогнутых — 250±15 мм.

плохо поддаются ремонту, имеют большую погрешность, обладают большой инерционностью.

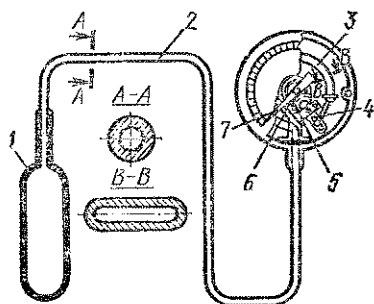


Рис. 6.2. Схема манометрического термометра:

1 — термобаллон, 2 — капиллярная трубка, 3 — манометрическая трубчатая пружина, 4 — рычаги, 5 — зубчатый сектор, 6 — шестеренка, 7 — указательная стрелка

Термометры сопротивления. Выпускают платиновые (ТСП) и медные (ТСМ) металлические термометры сопротивления. Они обеспечивают высокую точность измерения температуры, передают показания на расстояние в виде электрических сигналов. Их недостаток — измерение относительно невысоких температур до 1000 °C (табл. 6.4).

Металлические термометры различают по способу контакта — погружаемые и поверхностные; по условиям эксплуатации — стационарные и переносные; по защищенности — обыкновенные, пыле- и водоза-

щищенные, защищенные от агрессивной среды, а также с разной герметичностью и устойчивостью к механическим воздействиям.

Полупроводниковые термометры сопротивления (термисторы) по сравнению с металлическим имеют меньшие размеры, высокую чувствительность и малую инерционность. Термисторы выполняют измерения в узком интервале температур:

КМТ-1, КМТ-4... до +180 °C

КМТ14, СТ-18, СТ-19... до +300 °C

СТЗ-25... — 100 ÷ +125 °C

6.4. Характеристика металлических термометров сопротивления (ГОСТ 6651—78)

Тип	Номинальное сопротивление при 0 °C, Ом	Условное обозначение номинальной статической характеристики преобразования	Диапазон измеряемых температур, °C	
ТСП	1	1П	—50	+1100
	5	5П	—100	+1100
	10	10П	—200	+1000
	50	50П	—260	+1000
	100	100П	—260	+1000
	500	500П	—260	+300
ТСМ	10	10М	—50	+200
	50	50М	—50	+200
	100	100М	—200	+200

Термоэлектрические пирометры (термопары). Термопары (табл. 6.5) представляют собой замкнутую цепь из двух разнородных электродов со спаянными концами. При разных температурах спаев в замкнутой цепи (термопаре) возникает термо-электродвижущая сила (термо-эдс), величина которой зависит от разности температур спаев и материалов, образующих термопару.

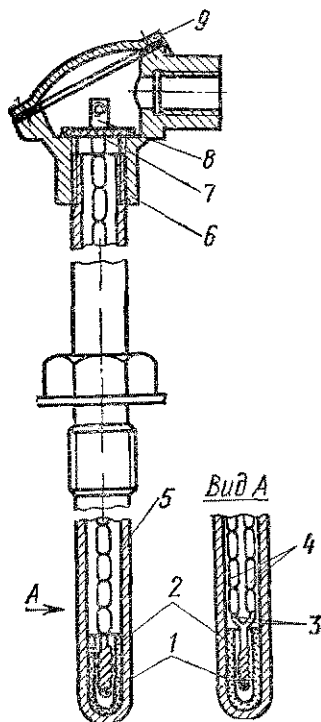
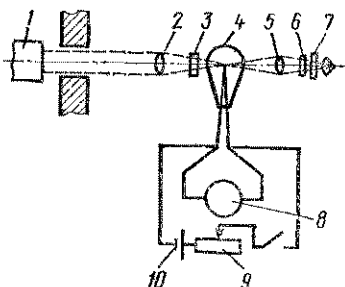


Рис. 6.3. Конструкция термопары:

1 — рабочий спай, 2 — фарфоровый наконечник, 3 — электроды, 4 — изоляционные бусы, 5 — чехол, 6 — головка, 7 — пластмассовая панель, 8 — клеммы, 9 — крышка

Рис. 6.4. Схема оптического пирометра:

1 — объект измерения, 2 — линза объектива, 3 — фильтр, 4 — фотометрическая лампа накаливания, 5 — линза, 6 — светофильтр, 7 — диафрагма, 8 — измерительный прибор, 9 — регулировочный реостат, 10 — аккумулятор



В комплект термоэлектрического пирометра входят термопара и вторичный электронизмерительный прибор для измерения термо-эдс, соединенный с термопарой соединительными проводами. Определение температуры выполняют по градуировочным таблицам (ГОСТ 3044—77).

Термопары выпускают разного исполнения: по способу контакта с измеряемой средой (погружаемые, поверхностные), по условиям эксплуатации (стационарные, переносные и др.), по защищенности от воздействия окружающей среды (обыкновенные, пыле- и водозащищенные и др.), а также с разной герметичностью и устойчивостью к механическим воздействиям. Они могут выпускаться в разных соче-

6.5. Характеристика термопар

Тип	Градуировка	Материал электродов	Измеряемая температура, °С	
			Диапазон измеряемых температур при длительном применении	Допускаемый предел измерений при кратковременном применении

С металлическими электродами

ТВР	ВР 5/20	Вольфраморений (5 % рения) — вольфраморений (20 % рения)	0—2200	2500
ТПР	ПР 30/6	Платинородий (30 % родия) — платинородий (6 % родия)	300—1600	1800
ТПП	ПП	Платинородий (10 % родия) — платина	0—1300	1600
ТХА	ХА	Хромель — алюминий	—200—1000	1300
ТХК	ХК	Хромель — константан	—200—600	800

С неметаллическими электродами

ТМСВ-340М	—	Силицид молибдена — силицид вольфрама	300—1650	—
ТГБЦ-360М	—	Графит — борид	800—2000	—
ТГКТ-360М	—	Графит — карбид титана	300—2500	—

6.6. Характеристика пиromетров

Тип	Диапазон измеряемых температур, °C	Поддиапазон ¹ измеряемых температур, °C	Погрешность измерения, °C
-----	------------------------------------	--	---------------------------

Пирометры с исчезающей нитью

ОППИР-017	800—6000	800—2000	±20
		1200—3200 1500—6000	±30
«Проминь»	800—4000	800—1400	±12
		1800—3200	±50

Микропирометры

ПМП-066М	900—4000	—	—
ВИМП-015М	400—4000	400—850	±10
		800—1400	±12
		1200—2400	±15
		1800—4000	±85
ОМП-054	800—4000	800—1400	±14
		1200—2000	±20
		1800—3200	±50
		3000—4000	±90

¹ Поддиапазон определяется модификацией прибора.

таниях этих исполнений. Для защиты термопары от механических воздействий ее помещают в защитный кожух (рис. 6.3) из жаростойких сталей или карборунда.

Пирометры. Оптические пирометры (яркостные) используют для периодического контроля температуры в печах и ваннах. Наиболее распространены приборы с исчезающей нитью (рис. 6.4), в которых изменением тока накала яркость нити доводится до яркости измеряемого тела, при этом нить исчезает на его фоне. Эти пирометры непригодны для автоматического регулирования, измерение температуры выполняет оператор.

Выпускают пирометры ОППИР-017 и «Проминь», они обеспечивают измерение температуры тел диаметром 2 см на расстоянии 1 м. Для измерения меньших поверхностей используют микропирометры (табл. 6.6).

Цветовые пирометры измеряют температуру по отношению интенсивностей монохроматического излучения для двух диапазонов длин волны красного и сине-зеленого участков видимой части спектра. В термических цехах обычно используют пирометры типа «Спектропир» (табл. 6.7), которые можно применять в системах автоматического регулирования.

6.7. Характеристика пирометров типа «Спектропир»

Шифр пирометра	Класс точности	Диапазон измерения, °C	Расстояние до объекта, м
7-002	1,0	700—1000	С насадкой 0,2—0,8; без — 1,0 и более
7-003	1,0	500—800	
8-001 8-002	1,0 1,0	500—800 700—1000	С насадкой 0,2—0,7
8-003 8-004 8-005	1,0 1,5 1,5	900—1400 400—700 300—500	Без насадки 0,7 и более

Фотоэлектрические пирометры используют для автоматического измерения, записи и регулирования яркостной температуры тела (рис. 6.5). Чувствительным элементом пирометра является фотоэлемент. Кроме него в систему фотодатчика входит оптическая система и светофильтр. На катод фотоэлемента попадает световой поток от измеряемой поверхности и от специальной лампы

накаливания. В случае рассогласования световых потоков появляется ток рассогласования, который фиксируется электронным потенциометром, градуированным в градусах Цельсия. Приборы (табл. 6.8) можно использовать в системах автоматического регулирования.

Радиационные пирометры измеряют полную (световую и тепловую) энергию излучения тела с помощью телескопа и специального прибора. Телескоп радиационного пирометра состоит из оптической системы, в фокусе которой находятся рабочие спай термобатарей, т. е. несколько соединенных последовательно термопар. Термобатарея преобразует энергию, излучаемую поверхностью, в термо-э. д. с., которая подается на измерительный прибор (рис. 6.6). Пирометры (табл. 6.9) могут быть встроены в автоматические системы.

Измерение давления и расхода жидкостей и газов. Для этих целей используют приборы, измеряющие следующие параметры: манометр — избыточное давление; мановакуумметр — избыточное давление и вакуум; вакуумметр — вакуум; тягомер — небольшое разрежение; напоромер — небольшое избыточное давление; тягонапоромер — небольшое избыточное давление или разрежение; дифманометр — разность давлений (расход); ротаметр — расход.

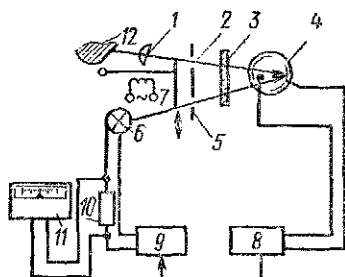


Рис. 6.5. Схема фотоэлектрического пирометра:

1 — линза объектива, 2 — диафрагма, 3 — светофильтр, 4 — фотодагчик, 5 — диафрагма, 6 — лампа, 7 — заслонка, 8 — электронный усилитель, 9 — силовой блок, 10 — сопротивление, 11 — потенциометр, 12 — объект измерения

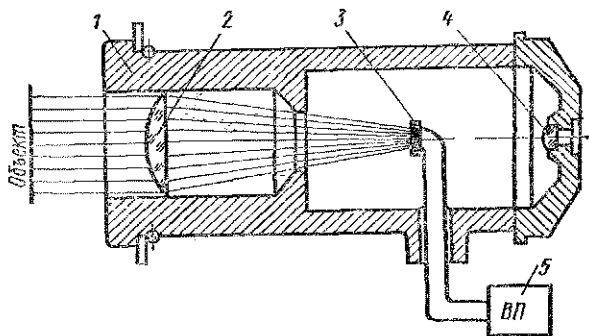


Рис. 6.6. Схема радиационного пирометра:

1 — корпус, 2 — объектив, 3 — спай термобатарей, 4 — крышка, 5 — потенциометр

6.8. Характеристика фотоэлектрических пирометров

Тип	Назначение прибора	Диапазон измерения, °C	Расстояние от фотодатчика до объекта, мм
ФП-15	Измерение температуры	600—1200	10—100
ФП-10	Измерение и запись температуры	500—900	1—10
ФП-8 ФП-11 ФП-14	Измерение, запись и трехпозиционное регулирование температуры	600—1200	
		200—600	
ФПР-8	Измерение, запись и непрерывное регулирование температуры	600—1200	200—3000
ФПР-10		500—900	1—10
ФПР-14		200—600	

6.9. Характеристика радиационных пирометров

Тип	Диапазон измеряемых температур, °C	Погрешность ¹ , °C
«Рапир»	100—4000	±(18÷30)
ПРК-600	400—2000	
ВПР-40	До 2000	±20
РПК-101	1100—1800	±8
ПИРС-019	20—300	±5

¹ Дополнительная погрешность у пирометров «Рапир» ±18 °C (при нагреве корпуса до 100 °C).

По принципу действия приборы разделяют на жидкостные, в которых давление (разрежение) уравнивается давлением столба жидкости, заполняющей прибор (рис. 6.7); пружинные, где измеряемое давление определяется по величине деформации упругого элемента — трубчатой пружины, мембраны, сильфона (рис. 6.8). Сигналы пружинных приборов, могут быть переданы на расстояние.

Характеристики ротаметров (рис. 6.9) и первичных преобразователей (датчиков) систем автоматического регулирования давления и расхода жидкостей и газов приведены в табл. 6.10—6.12.

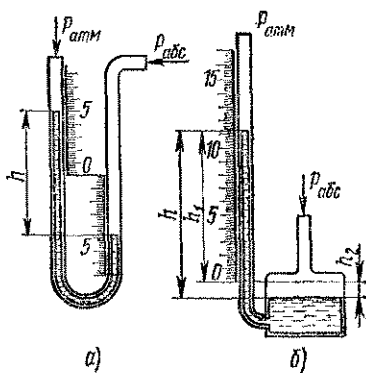


Рис. 6.7. Схема жидкостного манометра:

а — V-образный, б — чашечный

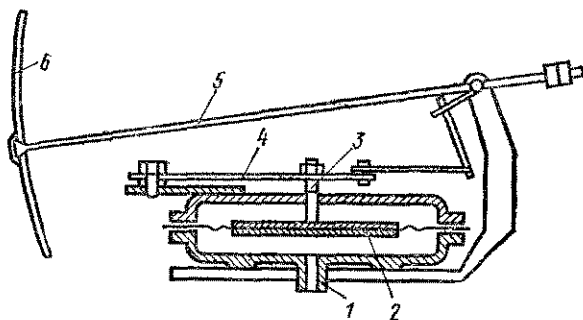


Рис. 6.8. Схема мембранного тягонапорометра:

1 — входной патрубок, 2 — мембрана, 3 — жесткий центр, 4 — плоская пружина, 5 — стрелка, 6 — шкала

Контроль состава атмосфер. Выполняется газоанализаторами (ГА) и гигрометрами. С помощью ГА производят качественный или количественный (полный или на несколько компонентов) анализ. Абсорбционный ГА позволяет выполнить полный анализ, является лабораторным, не предназначен для дистанционной передачи сигнала. Электрический ГА используется в системах автоматического регулирования, позволяет определять содержание CO_2 , $\text{CO} + \text{H}_2$, H_2 ; основан на различии теплопроводности воз-

6.10. Характеристика ротаметров

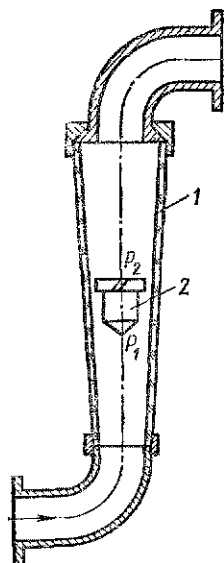


Рис. 6.9. Схема ротаметра:

1 — металлическая трубка, 2 — поплавок

Тип	Наибольшее допустимое рабочее давление, МПа		Пределы измерения ¹			
			воды, л/ч		воздуха, м³/ч	
	жидкости	газа	от	до	от	до
РС-3	0,6	0,4	—	—	0,04	0,35
			1,6 6,0	14 34	0,10 0,20	0,63 1,0
РС-5	0,6	0,4	—	—	0,63	4,0
			—	—	1,0	6,3
			16 25	100 160	—	—
			—	—	1,6	10,1
РС-7	0,5	0,3	—	—	6,3	25,0
			160	1000	—	—

¹ Показаны для разных модификаций приборов.

духа и газовых смесей. Магнитный ГА (МН5106) предназначен для определения количества кислорода в составе атмосферы. И н-

6.11. Характеристика датчиков для измерения давления и расхода жидкостей и газов

Тип	Измеряемый параметр	Пределы измерения давления, МПа	Предельный перепад давления, МПа
МЭД	Избыточное давление и вакуум	0,160	—
ДМ	Перепад давления	—	0,016—0,63
ДК-ТПВФ	Разрежение	0—0,016	—

Тип	Измеряемый параметр	Пределы измерения давления, МПа	Предельный перепад давления, МПа
ДКОФМ-Т ¹ ДКОФМ-Т ⁰ ДКО ¹	Разрежение и избыточное давление	0—4	—
		—2,0—2,0	—
		—0,01—0,01	—
ДКОФМ-Р ¹ ДК-РПВФ ¹	Расход	—	—

¹ Для неагрессивных газовых сред.

фракрасный анализатор (ОА-2209) предназначен для измерения и регулирования атмосферы по CO_2 ; обеспечивает погрешность измерения углеродного потенциала в пределах $\pm 0,1\%$ С; основан на способности сложных газов поглощать инфракрасные лучи определенной длины.

Гигрометры оценивают состав газа по точке росы (температуре насыщения). Работа подобного прибора (рис. 6.10) основана на измерении температуры охлаждаемого металлического зеркала в момент конденсации на нем влаги, содержащейся в анализируемом газе; при этом происходит рассеяние света зеркалом, что фиксируется оператором. Конденсационные гигрометры ИИГ-1, ВИГ-2М, ВИГ-3, ВИГ-5 предназначены для определения точки росы в пределах от -60 до 30°C . Для автоматического регулирования состава газа по точке росы используют установки УРСГ-4М (точность определения точки росы $\pm 0,6^\circ\text{C}$), ИВ-4-2 (измерение точки росы в пределах от -11 до 16°C).

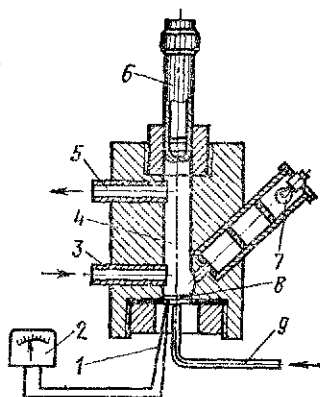


Рис. 6. 10. Переносный прибор для определения точки росы:

1 — термopар, 2 — гальванометр, 3 — входной патрубок, 4 — камера, 5 — выходной патрубок, 6 — окуляр, 7 — лампа, 8 — зеркало, 9 — подача углекислоты

6.12. Характеристика датчиков ГСП для измерения перепада давления и расхода жидкостей и газов

Тип	Измеряемый параметр	Предельный перепад давления, МПа	Предельное допускаемое избыточное давление, МПа	Класс точности	Выходной сигнал ¹
Мембранные электрические					
ДМ-Э1	Перепад давления	1,6—10	0,25	1; 1,5	0—5
ДМ-Э2		10—63	1,0		0—20
ДМ-ЭР1	Расход	16—10	0,25		5; 20
ДМ-ЭР2		10—63	1,0		
Сифонные электрические					
ДС-Э3	Перепад давления	40—250	10; 40	0,6; 1; 1,5	0—5 или 0—20
ДС-Э4		400—1600			
ДС-Э5		2500—6300			
ДС-ЭР3		40—250			
ДС-ЭР4	Расход	400—1600			5; 20
ДС-ЭР5		2500—6300			
Мембранные пневматические					
ДМ-П1	Перепад давления	1—10	0,25	1; 1,5; 2,5	0,02—0,1
ДМ-П2		10—63	1,0	1	
Сифонные пневматические					
ДС-П3	Перепад давления	40—250	10; 40	0,6; 1; 1,5	0,02—0,1
ДС-П4		400—1600			

¹ Для электрических — в мА; для пневматических — в МПа.

6.2. Промежуточные преобразователи и вторичные приборы

Промежуточные преобразователи обеспечивают преобразование сигнала первичного преобразователя в пропорциональное его величине напряжение (эдс) или унифицированный (токовый или пневматический) сигнал (для датчиков ГСП).

Дифференциально-трансформаторные преобразователи типа ПЭС, ДПЭС-Т, ЭПВИ-14 и другие преобразуют возвратно-поступательное движение чувствительного элемента в выходной сигнал в виде эдс. Для получения унифицированного сигнала их подключают к нормирующим преобразователям типа НП-П1М или НП-П1Л.

Ферродинамические преобразователи типа ПФ. Преобразуют вращательное движение в выходной сигнал в виде эдс. Для преобразования выходного сигнала в нормируемый используют дополнительные преобразователи типа ПФТ или ПФН.

Преобразователи ГСП. Могут быть электро- (рис. 6.11) или пневмосиловыми; функционально они аналогичны. Чувствительный элемент датчика механически воздействует на рычажную систему с усилием P , пропорциональным измеряемому параметру, и перемещает управляющий флажок дифференциально-трансформаторного индикатора. Это перемещение преобразуется в электрический сигнал переменного тока, поступающего на вход электронного усилителя. Выходной сигнал усилителя поступает к измерительному (вторичному) прибору и одновременно на обмотку магнитоэлектрического устройства, в котором создается усилие обратной связи, уравнивающее входное усилие. Настройка осуществляется корректором, изменяющим отношение рычажной системы. Установка начального сигнала регулируется пружиной.

Вторичные приборы. Вторичные приборы предназначены для контроля (показывающие), контроля и записи (показывающие и регистрирующие), а также для передачи сигнала на регулирующие

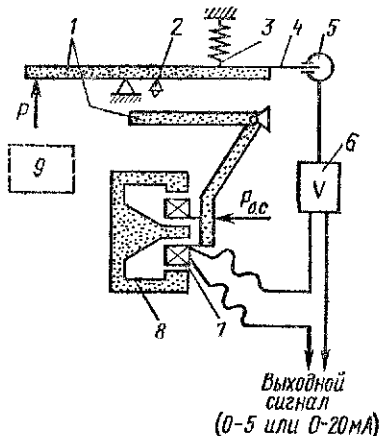


Рис. 6.11. Принципиальная схема электросилового преобразователя:

1 — рычажная система, 2 — корректор, 3 — пружина, 4 — управляющий флажок, 5 — индикатор, 6 — усилитель, 7 — обмотки, 8 — магнитоэлектрическое устройство, 9 — датчик

устройства (показывающие, регистрирующие и регулирующие). Наиболее совершенными и распространенными являются электронные приборы (табл. 6.13). Принцип работы рассмотрен на примере прибора (см. рис. 6.12) с ферродинамическим преобразователем в измерительной схеме.

Автоматические электронные потенциометры. Предназначены для контроля, записи и регулирования (при наличии регулирующего устройства) температуры и других параметров, преобразованных в напряжение постоянного тока. Выпускают потенциометры серии К:

КВП, КПП, КСП, КСУ, заменяющие приборы типа ЭПД, ЭПД, ЭПВ, ПП и др.

Автоматические электронные уравновешивающие мосты. Работают в комплекте с электрическими термометрами сопротивления. К ним относят мосты серии К: КПМ1, КСМ1, КСМ2, КСМ3 и КСМ4, наряду с которыми используют также выпущенные ранее приборы типа МСМ, МСМР, МП4, МПР3, ЭМВ, ЭМД и др.

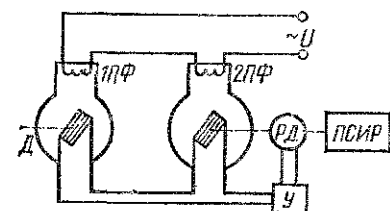


Рис. 6.12. Схема электронного прибора с ферродинамическим преобразователем

Автоматические электронные приборы с дифференциально-трансформаторным преобразователем в измерительной схеме широко применяют для контроля, записи и регулирования расхода жидкости и газа, разности давлений, избыточного давления, уровня жидкости. Применяют приборы с вращающимся циферблатом типа ЭИВ2, показывающие и самопишущие приборы типа ЭПД, ДС1, ДСР1, ДСМ2, ДСМР2, а также новые типа КСД2.

Автоматические электронные приборы с ферродинамическим преобразователем в измерительной схеме. Предназначены для контроля, записи и регулирования давления, расхода, уровня и других параметров (рис. 6.12). Обмотки возбуждения преобразователей датчика (1ПФ и 2ПФ) электронного прибора соединены последовательно и питаются переменным током. Рамка преобразователя 1ПФ связана с чувствительным элементом датчика Д, а рамка преобразователя 2ПФ поворачивается реверсивным двигателем РД. Рамки преобразователей соединены между собой последовательно и подключены на вход усилителя У. Если рамки преобразователей повернуты на одинаковый угол, то сумма напряжений равна 0. При отклонении измеряемого параметра датчик воздействует на рамку 1ПФ и меняет угол ее поворота, появляется сигнал рассогласования. В зависимости от величины и знака сигнала РД поворачивает рамку 2ПФ и уравновешивает схему. Одновременно двигатель перемещает показывающую стрелку, пишущее перо и воздействует регулирующее устройство.

6.13. Характеристика автоматических электронных приборов

Тип	Погрешность, %		Шарнира диаграм- мы или длина шкалы, мм
	показаний	записи	
ЭПВ2, ЭМВ2, КВП1, КВМ1, КВУ1, ЭИВ2	±0,5	—	660
ПП4, МП4, КПП1, КПМ1, КПУ1		—	315
ЭПД, ЭМД, ЭПИД, КСПЗ, КСФЗ		±1	600
ЭП, ЭМ			700
ПЕД-250, МЕД-250			600
ЭПП, ЭМП, ЭПР, ЭМР	±0,5 и ±1	±0,5 и ±1	275
ПС1, ПСР1, МС1, МСР1, ДС1, ДСР1	±0,5	±1	160
ПСМ2, ПМСР2, МСМ2, МСМР2, ДСМ2, ДСМР2	±1		100
КСП1, КСМ1, КСУ1	±0,5		160
КСП2, КСМ2, КСУ2, КСД2	±0,25		250
КСП4, КСМ4, КСУ4		±0,5	250
A501	±1	—	100
A511	±0,5	±1	
A542 (A543)			

6.3. Регулирующие устройства и исполнительные механизмы

Регулирующие устройства. Воздействуя на исполнительные механизмы, они обеспечивают поддержание значений одного или нескольких параметров технологического процесса постоянными или изменяют их по заданной программе. Регулирование может быть прерывистым (релейным) или непрерывным (линейным).

Релейные регуляторы. Имеют ограниченное число фиксированных позиций. При отклонении регулируемого параметра до граничной величины происходит переключение регулятора на новую позицию и скачкообразное изменение состояния системы. Большинство модификаций приборов типа КС1, КС2, КС3, КС4 снабжены встроенными двух-, трехпозиционными регулирующими устройствами. Примером релейного регулирования служит система контроля температуры в печах электросопротивления (см. п. 6.4).

Электрические и пневматические регуляторы непрерывного действия. Используют электронные регуляторы приборного типа в ком-

6.14. Характеристика электрических исполнительных механизмов

Тип	Номинальный момент на выходном валу, кгс·м	Угол поворота, град
ДР-М, ДР-1М	1	180
ПР-М, ПР-1М		0—180
ИМ-2/120	2	120
ИМТМ-4/2,5	4	350
МЭК-10К/120	10	90, 270
МЭО-160/100К	160	90, 240
БИМ-2,5/120	2,5	120
БИМ-25/100	25	90, 270
ИМ2Б/15М	15	90, 240
ИМ2Б/45М	45	
МЭМ-1,6	1,6	10, 25 ¹
МЭМ-25	25	10, 25, 63, 160 ¹

¹ Число оборотов выходного вала.

плекте с датчиками вторичных приборов КС1, КП1, КВ1, КС2, КС3 и КС4. Пневматические регуляторы представляют собой потенциометры КСП4, КСУ4 и уравнивающие мосты типа КСМ4 со встроенными пневматическими регулирующими устройствами (например, ПРЗ-27М).

В качестве приставок к вторичным приборам применяют регуляторы типов БРУ, ИРМ, ЭР. Эти устройства регулируют постоянство одного параметра, а также соотношение двух параметров технологического процесса.

Для регулирования сложных технологических процессов термической обработки используют программные регуляторы и задающие устройства РУ5-01М, РУ5-02М.

Пример непрерывного регулирования — использование регулятора ВРТ-2 (см. рис. 6.14).

Исполнительные механизмы (гидравлические, пневматические и электрические). Они предназначены для осуществления перемещения регулирующего органа (клапана, заслонки, крана и т. д.). Гидравлические исполнительные механизмы (типа СПГП, ГИМ и др.) представляют собой поршневые сервомоторы с кривошипным механизмом. В пневматических — непосредственно с рабочим органом связана мембрана (например, МИМР). В системах автоматического регулирования температуры, давления, расхода применяют электрические механизмы (табл. 6.14).

6.4. Системы автоматического регулирования

Системы автоматического регулирования температуры. В печах с газовым обогревом регулирование сводится к изменению количества газозооной смеси, подаваемой к горелкам, и поддержанию постоянного соотношения газа и воздуха (рис. 6.13). Сигнал термометра поступает на вход вторичного прибора. При наличии разбаланса (отличие измеряемой температуры от заданной) сигнал поступает в регулятор. Регулятор управляет исполнительным механизмом, который изменяет положение заслонок подачи воздуха и газа.

В печах с электрическим обогревом регулирование температуры осуществляют ступенчатым или бесступенчатым изменением мощности, подаваемой в печь для нагрева. Температуру в электропечах сопротивления чаще регулируют более простым прерывистым методом (например, в трехфазных печах сопротивления при переключении нагревателей с треугольника на звезду мощность снижается в три раза). Бесступенчатое регулирование может быть осуществлено, например, регулятором температуры ВРТ-2 (рис. 6.14), который состоит из измерительного блока И-102 и регулятора Р-111. Он осуществляет регулирование тиристорного блока питания У-252, изменяющего через трансформатор и нагреватель подаваемую в печь

мощность. Точность регулирования температуры обеспечивается в пределах $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

Системы автоматического регулирования углеродного потенциала при химико-термической обработке. Они состоят из двух подсистем — регулирования состава эндогаза, вырабатываемого генератором, и регулирования углеродного потенциала.

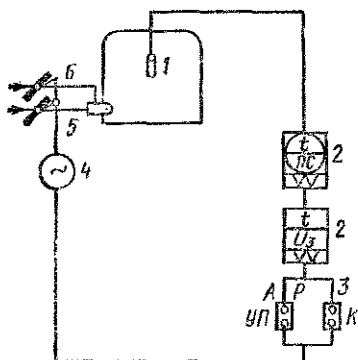


Рис. 6.13. Схема автоматического контроля и регулирования соотношения газ — воздух методом «спаренных дросселей»: 1 — термонара, 2 — вторичный прибор, 3 — регулятор, 4 — исполнительный механизм, 5, 6 — дроссели подачи воздуха и газа

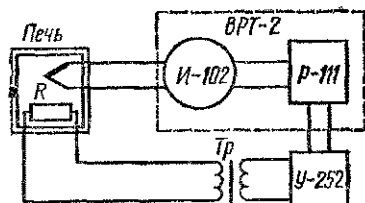


Рис. 6.14. Схема автоматического регулирования температуры прибором ВРТ-2

При регулировании состава атмосферы газогенератора первичный преобразователь (датчик) реагирует на состав газа, а собственно регулирование осуществляется за счет изменения подачи воздуха аналогично рассмотренной схеме (см. рис. 6.13).

Углеродный потенциал регулируется по точке росы. Автоматическое измерение и регулирование углеродного потенциала обеспечивается автоматизированной системой газового анализа АСГА-Ц (при цементации).

Системы автоматического регулирования ряда параметров. Для регулирования температуры, давления, расхода и уровня используют машины типа ЭЛРУ, «Зенит», ЦИКЛ-2, АМУР, «Марс-200Р», ИВ-500, «Сокол-1М», которые регулируют названные параметры в нескольких (от 50 до 200) точках. Некоторые типы машин дополняются или сочетаются с ЭВМ для обработки информации и использования результатов при автоматическом регулировании и управлении технологическими процессами,

7. СРЕДЫ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

7.1. Нагревательные среды

Обычные и защитные атмосферы используются при нагреве в процессе термической обработки, активные — при химико-термической обработке (табл. 7.1).

7.1. Рабочие среды при нагреве изделий для термической обработки

Обычные	Защитные	Активные
Газовые		
Воздух. Продукты сгорания	Вакуум. Инертные газы. Водород. Контролируемые атмосферы	Диссоциированные газы. Контролируемые атмосферы
Жидкие		
	Масла. Расплавы солей (смесей солей). Расплавы металлов. Расплавы специальных шлаков	Расплавы смесей солей
Твердые		
Металлические плиты. Порошки, псевдооживленные газовым потоком (кипящий слой)	Инертные порошки. Инертные порошки, псевдооживленные инертным газом	Порошки. Инертные порошки, псевдооживленные активным газом

Воздух и продукты сгорания газообразного топлива. При нагреве в этих средах поверхность изделий окисляется и обезуглероживается. Окисление стали начинается при температуре около 200 °С (появляются цвета побежалости). Повышение температуры усиливает окисление и сопровождается окалинообразованием. Обезуглероживание начинается при температуре выше 700 °С и характеризуется обеднением поверхностных слоев изделий углеродом.

Газовые защитные среды (табл. 7.2—7.5). Контролируемую эндотермическую атмосферу получают частичным сжиганием метана при большом недостатке воздуха и распадом остальной части метана без доступа воздуха. Исходный продукт для получения эндогаза — природный газ или сжиженная пропанбутановая смесь. В зависимости от содержания двуокиси углерода эндоатмосфера может науглероживать, обезуглероживать или быть нейтральной по отношению к одной и той же стали. Состав эндогаза регулируется по точке росы.

Контролируемую экзотермическую атмосферу

7.2. Состав контролируемых атмосфер

Атмосфера	Исходный материал	Содержание компонентов, % (объем)						Точка росы, °С
		окись углерода	углекислый газ	водород	метан	азот	кислород	
Аргон	—	—	—	0,001	—	0,1	0,001	—50
Гелий	—	—	—	0,01	—	—	—	
Водород: торговый	—	—	—	99,8	—	0,2	—	—30
чистый	—	—	—	100	—	—	—	—50
Азот: торговый	—	—	—	—	—	99,8	0,2	—30
чистый	—	—	—	1—3	—	99—97	—	—50
Специальный газ	—	—	—	10—30	—	90—70	—	
Диссоциированный аммиак	Аммиак	—	—	75	—	25	—	—40
Диссоциированный и сожженный (частично или полностью) аммиак	—	—	—	1—24	—	99—76	—	От + 20 до — 25
Эндогаз	Метан, пропан, бутан	18—24	0,5—0	32—50	1,5—0,1	48—29,5	Следы	От + 20 до — 25
	Метанол	31	2	65	2	—	—	—30
	Спиртовые смеси	5—25	0—0,3	30—50	5—25	Ост.	0—1	—
	Древесный уголь	30—35	Следы	0,5—1,5	Следы	69,5—63,5	Следы	—
	Городской, природный, промышленный, коксовый газы	0,5—15	10—3	0,5—2,5	0—0,1	89—56	0—0,01	От + 20 до — 10
	Метан, бутан, пропан	0,5—1,5	0,5—0	0,5—2,5	0—1	98,5—95	0—0,01	От + 13 до — 50
Экзогаз	Нефть, керосин, диз. топливо	0,5—2	0,5—0	0,5—2,5	0—1	98,5—94,5	0—0,01	
	Нефтяное масло	Следы	Следы	0,5—2,5	0—1	99,5—96,5	0—0,01	
РТС-газ	Городской и природный	10—20	0—0,2	40—60	15—25	Ост.	0—0,1	—

7.3. Свойства контролируемых атмосфер

Контролируемые атмосферы	Плотность	Теплопроводность	Взрывоопасность ¹
	по отношению к воздуху		
Воздух	1,000	1,000	—
Экзогоз, полученный при полном сжигании природного газа	1,030	0,994	—
То же, с удалением CO ₂ и H ₂ O	0,954	1,118	—
Экзогоз, полученный при частичном сжигании ($\alpha=0,6$)	0,858	1,878	+
То же, с удалением CO ₂ и H ₂ O	0,825	1,929	+
Эндогоз: $\alpha=0,35$	0,798	2,663	+
$\alpha=0,24$	0,622	3,228	+
Диссоциированный аммиак	0,295	5,507	—
То же, после частичного сжигания с воздухом	0,755	2,442	+
То же, после полного сжигания с воздухом	0,963	1,059	—
Высоководородный газ	—	—	+
Очищенные: водород	0,069	7,01	+
азот	0,972	0,999	—
аргон	1,379	0,745	—
гелий	0,137	6,217	—

¹ Знак «+» указывает на наличие взрывоопасности; знак «—» — на ее отсутствие.

7.4. Области применения эндотермических атмосфер

Вид термической обработки	Материал	Диапазон температур, °C	Требования ¹ к качеству	
			поверхностных слоев	поверхности
Отжиг (при коротких циклах)	Средне-, высокоуглеродистые стали	650—800	Отсутствие обезуглероживания	Светлая поверхность (без изменения первоначального цвета)
	Легированная сталь	700—870		Чистая поверхность (потерявшая первоначальный цвет)
	Быстрорежущая сталь	800—900		
Нормализация	Среднеуглеродистая, высокоуглеродистая и легированная стали	810—1100		Светлая поверхность (без изменения первоначального цвета)
Закалка	Средне-, высокоуглеродистая и цементированная стали	760—950		

¹ Приведенные требования к качеству поверхности действительны для режимов термической обработки, выполняемых без контакта изделий с воздухом.

получают при неполном или почти полном сгорании природного газа или сжиженных пропанбутановых смесей. Сжигание газа при недостатке воздуха (при α — отношении объемов воздуха, подаваемого к необходимому для полного сгорания, равном 0,5—0,6) дает богатую экзотермическую атмосферу по содержанию в ней водорода и окиси углерода. При сжигании газа с большим количеством воздуха ($\alpha = 0,9 \div 0,95$) получается бедная экзотермическая атмосфера.

Контролируемую атмосферу из диссоциированного аммиака получают из жидкого аммиака. Для уменьшения взрывоопасности диссоциированный аммиак предварительно подвергают частичному сжиганию в смеси с воздухом, в результате чего содержание водорода снижается с 75 до 20 % и менее. После сжигания водорода и осушки газ используют как защитную атмосферу.

Контролируемую атмосферу технического азота получают из продуктов полного сгорания диссоциированного аммиака или отходов технического азота на кислородных станциях

7.5. Области применения экзотермических атмосфер

Термическая обработка	Материал	Диапазон температур, °C	Характеристика защитной атмосферы	Требования к качеству ¹	
				поверхностных слоев	поверхности
Отжиг	Малоуглеродистая сталь	650—730	Неочищенная ($\alpha=0,6\div0,7$)	—	Светлая поверхность (без изменения первоначального цвета)
	Средне-, высокоуглеродистая и легированная стали	650—870	Очищенная ($\alpha=0,6\div0,7$)	Отсутствие обезуглероживания	Светлая поверхность (без изменения первоначального цвета) или чистая (потерявшая первоначальный цвет)
	Нержавеющая сталь	980—1150	Неочищенная ($\alpha=0,6\div0,7$)	—	Чистая поверхность (потерявшая первоначальный цвет)
	Быстрорежущая сталь	800—900	Очищенная ($\alpha=0,6\div0,7$)	Отсутствие обезуглероживания	
	Медь	260—650	Неочищенная ($\alpha=0,9\div0,95$)	—	Светлая поверхность (без изменения первоначального цвета)
	Медно-никелевые сплавы	430—760	Неочищенная ($\alpha=0,6\div0,7$)	—	
	Латунь и бронза	430—760	Неочищенная ($\alpha=0,9\div0,95$)	—	Чистая поверхность (потерявшая первоначальный цвет)
Нормализация	Малоуглеродистая сталь	870—1000	Неочищенная ($\alpha=0,6\div0,7$)	—	Светлая поверхность (без изменения первоначального цвета) или чистая (потерявшая первоначальный цвет)
	Легированная, средне- и высокоуглеродистая стали	810—1100	Очищенная ($\alpha=0,7\div0,8$)	—	
Закалка	Средне-, высокоуглеродистая, цементированная и легированная стали	760—950	Очищенная ($\alpha=0,6\div0,7$)	Отсутствие обезуглероживания	

¹ Требования к качеству поверхности действительны для режимов герметической обработки, выполняемых без контакта изделий с воздухом.

предприятий. При нагреве среднеуглеродистых и легированных сталей в состав атмосферы вводят до 2 % природного газа или 0,3—0,4 % пропанабутановой смеси для придания равновесного углеродного потенциала. Атмосферы взрывобезопасны и сравнительно дешевы.

Инертные газы — аргон и гелий после соответствующей очистки и осушки используют в качестве защитных атмосфер. Такие атмосферы взрывобезопасны. В настоящее время из-за высокой стоимости их применяют преимущественно в прецизионном машиностроении, приборостроении.

Нагрев в вакууме широко используют при термической обработке. Такой нагрев не вызывает окисления и обезуглероживания, обеспечивает дегазацию металла. Недостатком этой среды является возможность выгорания легирующих компонентов при высокотемпературном нагреве.

7.6. Характеристика солей, применяемых для печей-вайн

Состав смеси	Температура применения, °C	Состав смеси	Температура применения, °C
100 % NaCl	850—920	39 % KF + + 61 % KCl	650—900
100 % KCl	820—920	17 % BaF ₂ + + 83 % BaCl ₂	900—1100
56 % KCl + + 44 % NaCl	720—900	(50—65) % Na ₂ CO ₃ + + (50—35) % NaCl	670—900
(50—78) % BaCl ₂ + + (50—22) % NaCl	700—950	50 % K ₂ CO ₃ + + 50 % NaCl	650—870
80 % BaCl ₂ + + 40 % KCl	820—1100	65 % BaCl ₂ + + 5 % NaCl + + 30 % KCl	750—850
100 % сальвинит ¹	800—900	48 % BaCl + + 22 % NaCl + + 30 % KCl	600—900
60 % сальвинит + + 40 % KCl	710—900	80 % KCl + + 17 % NaCl + + 3 % NaOH	750—850
50 % сальвинит + + 50 % Na ₂ CO ₃	700—850	100 % BaCl ₂	1020—1320
(50—81) % CaCl ₂ + + (50—19) % NaCl	550—900	95 % BaCl ₂ + + 5 % MgF	950—1350
50 % CaCl ₂ + + 50 % BaCl ₂	650—900		

¹ Сальвинит — естественный минерал (в основном NaCl + KCl).

7.7. Состав солей и щелочей для нагрева и охлаждения

Состав смеси	Температура применения, °С	Состав смеси	Температура применения, °С
NaNO_2	325—550	KOH	400—650
NaNO_3	300—550	75 % NaOH + + 25 % NaNO_3	420—540
KNO_2	300—550	35 % NaOH + + 65 % KOH	170—250
KNO_3	350—550	20 % NaOH + + 80 % KOH с до- бавкой 6 % H_2O	150—250
45 % NaNO_3 + + 55 % KNO_3	230—550	37 % NaOH + + 63 % KOH	180—350
50 % NaNO_2 + + 50 % KNO_2	160—550	60 % NaOH + + 40 % NaCl	500—700
50 % NaNO_2 + + 50 % KNO_3	280—550	45 % NaNO_3 + + 27,5 % NaNO_2 + + 27,5 % KNO_3	240—260
45 % NaNO_2 + + 55 % KNO_3	155—650	53 % KNO_3 + + 40 % NaNO_2 + + 7 % NaNO_3 добавкой 2— — 3,5 % H_2O	110—125
50 % NaNO_3 + + 50 % KNO_3	280—550	95 % NaNO_3 + + 5 % Na_2CO_3	380—520
25 % KNO_3 + + 75 % NaNO_3	380—540	70 % NaOH + + 15 % NaNO_3 + + 10 % NaNO_2 + + 5 % Na_3PO_4	280—600
50 % NaNO_2 + + 50 % NaNO_3	260—600	60 % NaOH + + 15 % NaNO_3 + + 15 % NaNO_2 + + 10 % Na_3PO_4	300—500
25 % NaNO_2 + + 25 % NaNO_3 + + 50 % KNO_3	200—600		
NaOH	350—700		

Псевдооживленный (кипящий) слой может быть использован для нагрева при закалке или отпуске, а также в качестве охлаждающих сред. Для его получения в камеру с решеткой вместо дна насыпают слой мелкозернистого сыпучего материала и продувают его восходящим потоком газа. При определенных значениях давления и расхода газа частицы приходят в движение и слой приобретает некоторые свойства жидкости. Особенностью среды является высокая равномерность температуры. Даже в больших по объему камерах перепад температур не превышает 5—10 °С. В качестве сыпучего материала наиболее часто используют электрокорунд с размерами частиц 0,12—0,4 мм. Температура кипящего слоя определяется температурой газа (воздух, инертные или активные газы).

Жидкие среды. Они обеспечивают отсутствие окисления и обезуглероживания, более высокую скорость нагрева, чем в газовых средах; для их получения не требуется специальных установок (в отличие от контролируемых атмосфер). Наиболее часто используемые расплавы солей и щелочей (табл. 7.6, 7.7) могут быть использованы для нагрева под закалку, отпуск, а также в качестве охлаждающих сред (например, при изотермической закалке).

7.2. Охлаждающие среды

Вода и водные растворы. Эти среды являются дешевыми и широко распространенными охладителями, обладают высокой скоростью охлаждения в интервале перлитного (650—550 °С) и начала мартенситного (300—200 °С) превращений (см. табл. 7.9). Это позволяет получать высокую твердость и большую прокаливаемость, но одновременно увеличивает вероятность появления деформаций и трещин. На изделиях могут также образовываться участки пониженной твердости — мягкие пятна. Они не возникают при интенсивном перемешивании воды или перемещении детали, так как при этом сбивается паровая рубашка. Добавка поваренной соли и щелочей повышают охлаждающую способность воды (см. табл. 7.8), устраняют опасность образования мягких пятен.

7.8. Интенсивность охлаждения¹ в различных закалочных средах

Движение среды или изделия	Воздух	Масло	Вода	Соленая вода
Без движения	0,02	0,25—0,30	0,9—1,0	2,0
Слабое движение	—	0,30—0,35	1,0—1,1	2,0—2,2
Движение средней интенсивности	—	0,35—0,40	1,2—1,2	—
Энергичное движение	—	0,40—0,50	1,4—1,5	—
Сильное движение	—	0,5—0,8	1,6—2,0	—
Бурное движение	—	0,8—1,1	4,0	5,0

¹ Относительно спокойной воды.

7.9. Скорость охлаждения стали в различных закалочных средах

Среда	Скорость охлаждения, °C/с, при температуре, °C	
	650—550	300—200
Дистиллированная вода	250	200
Вода при температуре, °C: 18	600	270
28	500	270
45	100	270
74	30	200
10 %-ный водный раствор при 18 °C: едкого натра	1200	300
поваренной соли	1100	300
сода	800	270
серной кислоты	750	300
5 %-ный раствор марганцовокислого калия	450	100
Глицерин	135	175
Эмульсия масла в воде	70	200
Мыльная вода	30	200
Минеральное машинное масло	150	30
Трансформаторное масло	120	25
Медные плиты	60	30
Железные плиты	35	15
Воздух спокойный	3	1
Воздух под давлением	30	10

Масла. Широко применяются в качестве охлаждающих сред, обладают более низкой охлаждающей способностью, чем вода и ее растворы, особенно в интервале температур мартенситного превращения (табл. 7.8—7.9), что ведет к снижению деформаций. Охлаждающая способность масел зависит от их температуры. Это определяет необходимость перемешивания масел в закалочных баках для выравнивания температуры. При длительной эксплуатации масла становятся непригодными из-за окисления. Для закалки ответственных деталей используют специальные закалочные масла марок МЗМ-16, МЗМ-26, МЗМ-120 с высокими антиокислительными свойствами и сопротивлением загущению.

Расплавы щелочей и солей. Используют для изотермической закалки. Закалка в горячих средах (см. табл. 7.7) резко снижает деформации по сравнению с закалкой в воде и исключает трещинообразование. Некоторые составы обеспечивают светлую закалку (расплавы щелочей), другие вызывают разъедание поверхности детали (см. табл. 7.10).

Воздух. Используют в качестве охлаждающей среды только для высоколегированных воздушно-закаливающихся сталей. Охлаждение на воздухе обеспечивает минимальные остаточные напряжения, что позволяет получить малые деформации. Для охлаждения может быть использован спокойный или сжатый воздух (см. табл. 7.8, 7.9).

Водовоздушные смеси. Применяют при закалке крупногабаритных деталей из легированных сталей. Смесь подается на закаливаемую деталь через специальную форсунку. Охлаждающая способность зависит от количества воды и интенсивности подачи воздуха. При малом увлажнении скорость охлаждения соответствует скорости охлаждения в масле.

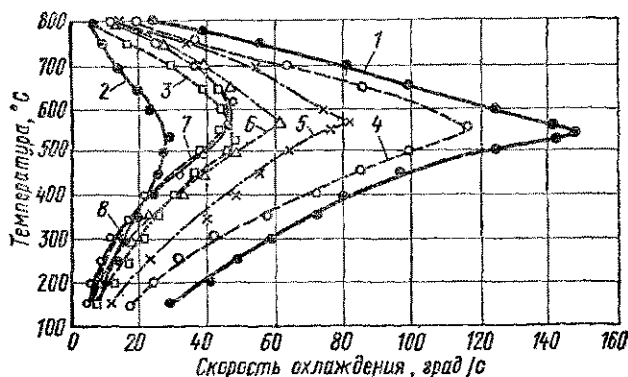


Рис. 7.1. Кривые скоростей охлаждения:
1 — вода, 2, 3 — масло, 4—8 — в аквапасте с концентрацией (%) соответственно: 0,0658; 0,134; 0,327; 0,598; 0,855

7.10. Влияние охлаждающей среды на качество поверхности изделий

Охлаждающая среда	Вероятность разъедания поверхности	Способ очистки после закалки	Антикоррозийная стойкость поверхности без пассивирования
Вода	Не разъедает	Не нужна	Нестойкая
Масло		Обезжиривание (промывка) или химическая очистка	Стойкая
Селитра	Разъедает при температурах выше 500 °C	Химическая очистка	Стойкая, но меньше, чем при охлаждении в масле
Едкие щелочи	Не разъедает	При нагреве в расплаве $\text{NaCl} + \text{KCl}$ промывка в горячей воде. При нагреве в солях с BaCl_2 химическая очистка	Нестойкая
Смеси хлористых солей	Не разъедает при температурах ниже 300 °C	Химическая очистка	Нестойкая
Смеси селитры с нитритом натрия			Стойкая, но меньше, чем при закалке в масле
Смеси селитры со щелочью			То же
Воздух	При медленном охлаждении в интервале температур — окисление		Стойкая

Кипящий слой. Обеспечивает скорость охлаждения промежуточную между скоростью охлаждения в масле и на воздухе.

Водные растворы полимеров позволяют в зависимости от концентрации изменять скорость охлаждения в широких пределах (рис. 7.1) — между скоростями охлаждения в воде и в масле.

Растворяемыми полимерами могут быть полиакриламид (состав марки ЗСП-1), модифицированная целлюлоза (состав марки АЗЛК) и др.; используют также состав «Аквапласт» производства ГДР. Водные растворы полимеров не горят и не образуют дыма и предохраняют детали от окисления. Однако резкая зависимость растворимости полимера от температуры воды вызывает изменение охлаждающей способности, что требует постоянного контроля температуры и концентрации полимера.

7.3. Среды для химико-термической обработки

Цементация. При цементации используют твердые или газовые карбюризаторы, а также пасты, наносимые обмазкой на места, подлежащие цементации (табл. 7.11, 7.12).

При цементации новой партии изделий твердый карбюратор состоит из 50—80 % отработанного, просеянного карбюризатора и 20—50 % нового того же состава.

7.11. Составы твердых карбюризаторов

Состав	Содержание, % (мас.)	Состав	Содержание, % (мас.)
Углекислый барий	20—25	Углекислый натрий	10
Углекислый кальций	3,5—5,0	Древесный уголь	90
Летучие вещества	Не более 10	Углекислый барий	10
Вода	Не более 5	Древесный уголь	90
Древесный уголь	Остальное	Углекислый натрий	6—10
		Торфяной кокс	90—94
Углекислый барий	10—15	Древесный уголь	40
Углекислый кальций	3,5	Костная мука	60
Вода	Не более 6,0	Углекислый натрий	5—8
Полукокс	Остальное	Древесные опилки	92—95

7.12. Составы паст¹ для цементации

Компоненты	Содержание компонентов в пастах, % (мас)		
	№ 1	№ 2	№ 3
Сажа	50	30	30—60
Углекислый натрий или углекислый барий	40	10	20—40
Желтоватая кровяная соль	—	—	10—15
Щавелевокислый натрий	10	—	5—10
Мазут	—	40	—
Декстрин	—	20	—
Разжижитель	Канцелярский клей	Керосин	Канцелярский клей

¹ Консистенция сметанообразная.

При газовой цементации применяют газообразные или жидкие карбюризаторы. Жидкие вводят непосредственно в цементационную печь, где под действием высоких температур они превращаются в газ, либо их подвергают предварительной обработке в специальных установках для получения газа. В качестве газовых карбюризаторов используют природный газ или смесь: эндогаз (92—95 %) + природный газ (5—8 %); в качестве жидких — керосин, пиробензол, снитин.

Защита поверхностей, не подлежащих цементации, осуществляется нанесением защитных паст (табл. 7.13) или слоем меди, нанесенным гальваническим способом. Внутренние полости защищают, забивая в них смесь кварцевого песка и окалины в соотношении 1 : 1 или смесь шамотного порошка и окалины в соотношении 1 : 2; забивку закрывают асбестовыми пробками.

7.13. Составы паст для защиты от цементации

Компоненты	Содержание компонентов, %	Способ приготовления
------------	---------------------------	----------------------

Цементация в твердом карбюризаторе

Тальк	50	Добавляют жидкое стекло до сметанообразного состояния и перемешивают
Белая глина	25	
Вода	25	
Однохлористая медь	70	Заменяют на канцелярном лаке до сметанообразного состояния
Свинцовый сурик	30	

Компоненты	Содержание компонентов, %	Способ приготовления
Песок Глина Бура Натриевая селитра Оксид свинца	41 43 10 3 3	Все составляющие перемешивают и разводят на жидком стекле
Тальк Оксид алюминия Свинцовый сурик	58 28 14	Разводят на жидком стекле (одна часть смеси, три части жидкого стекла)
Песок Глинозем Оксид железа Оксид титана Оксид магния	60 35 3 0,25 1,75	Разводят на жидком стекле (три части смеси на одну часть стекла). Пасту наносят в два слоя
Глина молотая Песок сеяный Бура Нитрид натрия	40 45 12 3	Разводят на жидком стекле до сметанообразного состояния

Газовая цементация

Оксид бора	35	Разбавитель — толуол в соотношении 1 : 1
Карбид кремния	15	
Эпоксидная смола	1	
Канифоль	Остальное	

Азотирование. Для азотирования наиболее распространены газовые среды. При низкотемпературном азотировании (до 600 °С) используют аммиак, смесь аммиака и азота, аммиака и науглероживающих газов — природного газа, пропана, эндо- и экзогаза и др. При высокотемпературном (выше 600 °С) — только смесь азота и аммиака. Для повышения качества азотирования целесообразно применять диссоциированный аммиак (табл. 7.14).

Способы местной защиты от азотирования — гальванические покрытия (табл. 7.15), экранирование (для полного азотирования), обмазки. Для обмазки используется свинцово-оловянистая пыль (60 : 40), разбавляемая на смеси растительного масла, стеарина, свиного сала, pulverизованной смолы и хлористого цинка, взятых в отношении 5 : 1 : 2 : 2 : 1; разжижитель — жидкое стекло. Обмазка наносится в два слоя толщиной 1—2 мм с последующей сушкой.

7.14. Степень диссоциации аммиака при азотировании стали

Температура, °С		Степень диссоциации, %	Температура, °С		Степень диссоциации, %
Конструкционные стали			Нержавеющие и жаропрочные стали		
500—520	20—40		500	15—25	
520—540	30—50		560	25—40	
			600	35—50	
			650	50—70	
540—560	40—60		700—750	80—90	

7.15. Глубина гальванических покрытий для местной защиты от азотирования

Покрытие	Глубина слоя, мм
Лужение	0,01—0,02
Никелирование	0,05—0,06 (0,01—0,015) ¹
Цинкование	0,04—0,05
Биметаллическое покрытие: свинец — цинк, медь — свинец, никель — свинец	1-й металл — 0,005, 2-й металл — 0,015

¹ Для ионного азотирования.

Цианирование. Для цианирования (нитроцементации) используют твердые, жидкие (цианирование) и газовые (нитроцементация) среды, а также пасты, наносимые на места, подлежащие химико-термической обработке (табл. 7.16—7.21).

7.16. Составы жидких сред для низкотемпературного цианирования (540—560 °С)

№ состава	Содержание компонентов, % (мас.)				
	NaCN	K ₄ Fe(CN) ₆	Na ₂ CO ₃	NaCl	KOH
1	50	—	32	18	—
2	30	—	45	25	—
3	—	90	—	—	10
4	—	75	—	—	25

7.17. Составы жидких сред для цианирования

№ состава	Содержание компонентов, % (мас.)					
	NaCN	Цианплав ¹	NaCl	BaCl ₂	CaCl ₂	Na ₂ CO ₃
Среднетемпературное (820—860 °C)						
1	53—60	—	25	—	—	15
2	30	—	70	—	—	—
3	30	—	40	—	—	30
4	—	10	35	—	55	—
5	—	10	45	45	—	—
Высокотемпературное (920—960 °C)						
6	50	—	15	35	—	—
7	45	—	8	47	—	—
8	10—15	—	25—30	55—60	—	1,0—1,5
9	12—20	—	5—7	75—80	—	—

¹ Состав цианплова, % (мас.): Ca(CN)₂ — 21,7; NaCN — 22,8; CaCN₂ — 3,5; CaCl — 26,1; NaCl — 14,1; CaC₂ — 1,9; C — 2,5; CaF₂ — 0,8.

7.18. Составы твердых карбюризаторов для низкотемпературного цианирования

№ состава	Содержание компонентов, % (мас.)			
	древесный уголь	желтая кровяная соль	карбонаты бария, натрия и калия	животный уголь, роговая или костяная мука
1	60—80	25—40	—	—
2	40—50	15—20	15—20	20—30
3	40—60	20—25	—	20—40
4	50—70	20—40	5—15	—
5	40—60	—	20—25	20—40

хромирование. Для хромирования используют твердые смеси (табл. 7.22).

Алитирование. Алитирование выполняют в порошках (табл. 7.23) при температуре 950—1050 °C в течение 6—12 ч; глубина слоя составляет 0,25—0,6 мм.

Силицирование. Для силицирования используют порошок следующего состава: 75 % ферросилиция, 20 % шамота или окиси алю-

7.19. Составы паст для цианирования конструкционных сталей

Компоненты	Содержание компонентов в пастах, % (мас.)				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Голландская сажа или мел-козернистый торфяной кокс	40—50	30—60	35	45	40
Карбонаты:					
бария	—	—	15	20	15
натрия или калия	20—40	20—40	20	20	20
Желтая кровяная соль	5—10	5—10	15	15	20
Щавелевокислый натрий или калий	—	5—10	—	—	—
Цианидлав	5—10	5—10	—	—	—
Муравьинокислый никель или щавелевокислый кобальт	—	5—10	—	—	—
Феррохром	—	—	15	—	—
Кварцевый песок	—	—	—	—	5

7.20. Составы атмосфер и температура газовой нитроцементации

Атмосфера	Температура, °C
Эндогаз (20 % CO, 40 % H ₂ , 40 % N ₂) + 3—5 % природного газа + 3—5 % аммиака	860
Маловодородный экзогаз (20 % CO, 20 % H ₂ , 60 % N ₂) + 0,5—0,8 % природного газа + 2—4 % аммиака	
Маловодородный экзогаз (20 % CO, 20 % H ₂ , газа + 4—6 % аммиака	820—860
Природный газ + 20—25 % аммиака	860
Триэталомин + 10 % воды	860—930
Синтиц, керосин, спирт + 5—50 % аммиака от общего объема	

миния, 5 % хлористого аммония; температура процесса — 1100—1200 °C; продолжительность — 6—12 ч; глубина слоя — 0,15—0,8 мм.

Борирование. Для борирования используют порошки или жидкие среды (табл. 7.24).

7.21. Составы атмосфер для низкотемпературной газовой нитроцементации¹

Компоненты	Содержание для атмосферы, % (объем)			
	№ 1 ²	№ 2	№ 3	№ 4
H ₂	40	20	—	—
CO	20	20	10	—
N ₂	40	60	90	—
Продукты пиролиза керосина, спирта или синтина	—	—	—	50
NH ₃	—	—	—	50

¹ Температура процесса 570 °С; продолжительность для атмосфер № 1 и 2 — 0,5—3 ч; № 3 и 4 — 1—6 ч. ² Атмосфера взрывоопасна при температуре ниже 570 °С. Рекомендуется создание пламенного затвора у передней дверцы. Подачу атмосферы в печь следует производить при 800 °С, продувать печь газом при охлаждении до 620 °С; загрузку садки в процесс выполнять при 570 °С. ³ Добавляется в атмосферы № 1—3 в следующих объемах: для № 1 — 25 %; № 2 и 3 — 50 %.

7.22. Составы хромирующих смесей и режимы хромирования

Материалы, подлежащие хромированию	Состав смеси, % (мас.)	Режим		Глубина слоя, мм
		температура, °С	время, ч	
Среднеуглеродистая легированная сталь	60 % металлического хрома, 39 % глинозема, 1 % йодистого аммония	1020—1050	8	0,025 и более
Низкоуглеродистая теплостойкая сталь		1020—1080	8—10	0,025 и более
Жаропрочные сплавы	70 % металлического хрома, 29 % глинозема, 1 % йодистого аммония	1100—1150	5—10	0,02—0,03

7.23. Состав порошков для алитирования

№ состава	Содержание компонентов, % (мас)				
	алюминий	окись алюминия	хлористый аммоний	ферроалюминий	кварцевый песок
1	49,5	49,5	1	—	—
2	—	—	1	99	—
3	—	—	4	48	48

7.24. Режимы борирования

Состав среды	Температура, °C	Выдерж- ка, ч	Глубина слоя, мм
--------------	--------------------	------------------	---------------------

Борирование в порошках

Аморфный бор, карбид бора или ферробор, 40 % глинозема, 1—3 % хлористого аммония	950—1050	3—6	0,1—0,3
--	----------	-----	---------

Жидкостное борирование

Расплавленная бура, 30— 40 % карбида бора или ферро- бора	950—1000	3—5	0,15—0,40
50 % хлористого бария, 40 % хлористого натрия — расплав- ленная смесь + 10 % карбида бора или 20 % ферробора	900—1000	1—3	0,05—0,25

8. ПРАКТИКА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

8.1. Приспособления для термической обработки

В термических цехах приспособления используют для размещения деталей при нагреве и охлаждении, загрузки и выгрузки, хранения и транспортировки, контроля.

Конструкция ряда типовых приспособлений показана на рис. 8.1.

8.2. Нормативы времени нагрева и выдержки

Время нагрева изделий до заданной температуры зависит от ряда факторов: температуры нагрева; свойств (тепло- и температуропроводности) стали, определяемых уровнем легирования; конфигурации изделий; величины садки и способа укладки деталей; мощности и типа нагревательных печей; нагревательной среды (табл. 8.1—8.4).

Время нагрева садки зависит от способа укладки деталей; оно рассчитывается с учетом коэффициента расположения — $K_{расп}$ (табл. 8.2), при этом толщина детали (условная) определяется как

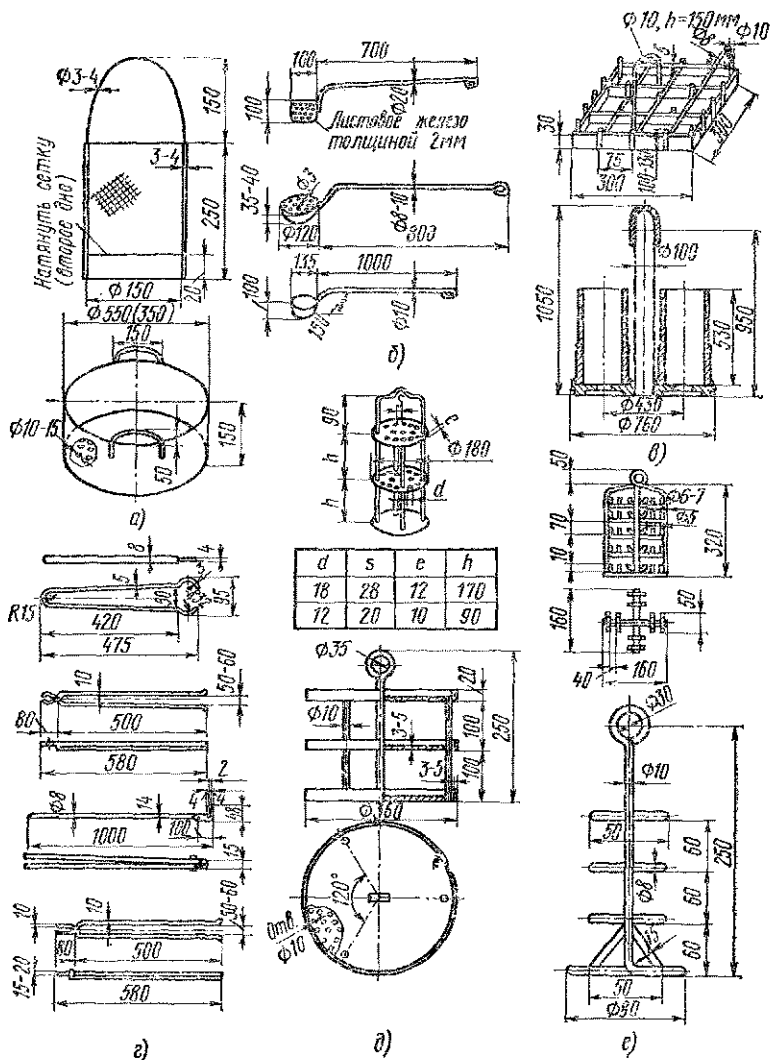


Рис. 8.1. Приспособления, применяемые при термической обработке: а — корзины, б — ковши, в — подставки, г — клещи, д — этажерки, е — «елочки»

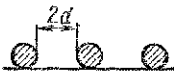
произведение фактической толщины на коэффициент формы (рис. 8.2).

Для некоторых высоколегированных сталей и сплавов длительность выдержки устанавливается в зависимости от времени протекания диффузионных процессов, для них данные табл. 8.3, 8.4 непри-

8.1. Нормы времени нагрева изделий из углеродистой и легированной стали

Оборудование	Температура нагрева, °C	Время нагрева стали из 1 мм диаметра или толщины детали, с	
		углеродистой	легированной
Пламенная печь	800—900	60—70	65—80
Пламенная печь; изделия упакованы в металлические контейнеры	800—900	90—100	125—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

8.2. Значения коэффициента расположения

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

8.3. Время¹ выдержки изделий при нагреве в электропечах

Условная толщина мм	Выдержка (мин)				Условная толщина, мм	Выдержка, мин			
	закалка	отпуск (низкотемпературный отжиг) при температуре, °C				закалка	отпуск (низкотемпературный отжиг) при температуре, °C		
		до 300	320—400	>400			до 300	320—400	>400
до 20	20	140	40	20	65	65	185	85	75
25	25	145	45	35	70	70	190	90	80
30	30	150	50	40	75	75	195	95	85
35	35	155	55	45	80	80	200	100	90
40	40	160	60	50	85	85	205	105	95
45	45	165	65	55	90	90	210	110	100
50	50	170	70	60	95	95	215	115	105
55	55	175	75	65	100	100	220	120	110
60	60	180	80	70					

¹ Установлено из расчета: при закалке — 1 мин на 1 мм толщины; при отпуске до 300 °C — 2 ч + 1 мин на 1 мм; 300 — 400 °C — 20 мин + 1 мин на 1 мм; свыше 400 °C — 10 мин + 1 мин на 1 мм.

8.4. Время¹ выдержки при нагреве в соляных и селитровых ваннах

Условная толщина, мм	Выдержка, мин				Условная толщина, мм	Выдержка, мин			
	закалка	отпуск, °C				закалка	отпуск, °C		
		до 300	320—480	>480			до 300	320—480	>480
5	4	120	15—25	5	25	11	120	15—25	13
7	5			6	30	13			15
10	6			7	35	14			17
15	8			9	40	16			19
20	9			11	45	18			21
					50	21			23

¹ Взято из расчета: при закалке 2,5 мин + 0,3 мин на 1 мм; при отпуске св. 480 °C — 3 мин + 0,4 мин на 1 мм.

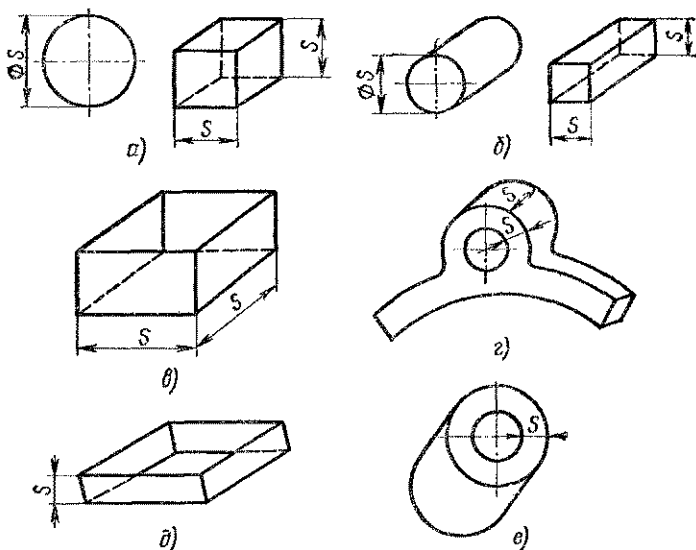


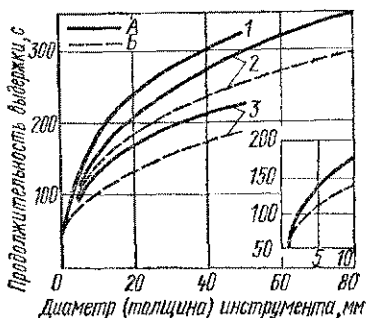
Рис. 8.2. Коэффициенты формы изделий:

$a - K=0,75$, $b - K=1$, $c - K=1,5$, $d - K=2$, $e - K=4$ для длинных труб или труб с закрытыми концами, $K=2$ для коротких труб с открытыми концами

емлемы. В этом случае время выдержки назначают конкретно для марки стали и процесса термической обработки. Для определения времени выдержки при нагреве инструмента из быстрорежущих сталей в соляных ваннах можно использовать номограмму (рис. 8.3).

Рис. 8.3. Выдержка инструментов при окончательном нагреве под закалку (время выдержки для сталей с содержанием $Mo \geq 3\%$ или $Co \geq 5\%$ уменьшать на 20—25 %):

1 — инструменты прямоугольного сечения, 2 — цилиндрические, кроме сверл, 3 — сверла; А — подогрев при 750—850 °С, Б — то же, при 1050—1100 °С



8.3. Дефекты термической обработки, меры их предупреждения и способы устранения

Наиболее распространенными причинами возникновения дефектов при термической обработке являются неисправность оборудова-

8.5. Дефекты термической обработки

Вид дефекта	Способ обнаружения	Возможная причина	Меры предупреждения или устранения
Трещины	Визуально или специальными методами	Быстрый нагрев при закалке	Осуществить подогрев перед закалкой
		Быстрое охлаждение	Снизить скорость охлаждения за счет выбора среды-охладителя; применить ступенчатую или изотермическую закалку
		Большой временной разрыв между закалкой и отпуском	Выполнять отпуск непосредственно после закалки
		Сильный перегрев при закалке	Соблюдать режимы технологического процесса, наладить оборудование
		Нерациональная конструкция детали	Изменить конструкцию детали: устранить резкие переходы, скруглить острые углы, симметрично расположить отверстия, пазы
Обезуглероживание	Контроль микротвердости и структуры поверхности	Нагрев в обезуглероживающих средах	Проводить нагрев в защитных атмосферах, раскисленных соляных ваннах
		Завышенное время выдержки при нагреве	Соблюдать режимы технологического процесса
Сильное окисление (окалина на поверхности деталей)	Визуально	Нагрев в окислительной атмосфере	Проводить нагрев в защитных атмосферах
		Завышенное время выдержки при нагреве	Соблюдать режимы технологического процесса
Крупнозернистая структура	Контроль микроструктуры	Перегрев или завышенное время выдержки	Соблюдать режимы технологического процесса. Провести наладку или ремонт оборудования. Для устранения брака — отжиг для измельчения зерна и закалка с соблюдением режимов
Оплавление	Визуально	Перегрев	Соблюдать режимы техпроцесса. Наладить оборудование
		Неправильное расположение изделия деталей при нагреве	Не располагать изделия близко к нагревателям

Вид дефекта	Способ обнаружения	Возможная причина	Меры предупреждения или устранения
Нафталинистый излом (характерен для быстрорежущих сталей)	Визуально — блестящие в изломе	Повторная закалка без промежуточного отжига	Отжечь перед повторной закалкой
		Окончание ковки при высоких температурах и отсутствие последующего отжига	Соблюдать режимы ковки. Отжечь после ковки
Появление карбидной сетки (инструментальные стали)	Контроль микро-структуры	Окончание ковки при излишне высокой температуре с последующим медленным охлаждением	Соблюдать режимы ковки
		Отжиг при излишне высоких температурах	Соблюдать режим отжига. Провести ремонт или наладку оборудования. Для устранения брака — нагрев выше A_{cm} с охлаждением обдувом или в масле и затем отжиг
Повышенная твердость	Контроль твердости	Заниженная температура отпуска. Недостаточное время выдержки при отпуске. Повышенная скорость охлаждения при закалке	Соблюдать режимы технологического процесса
Пониженная твердость	Контроль твердости, определения наличия остаточного аустенита	Недогрев или малая выдержка при закалке	
		Слишком медленное охлаждение при закалке	
		Перегрев при отпуске	
		Недогрев при отпуске (для быстрорежущих сталей)	
		Неправильный выбор стали	Выбрать сталь, обладающую лучшей закалываемостью или большей прокаливаемостью
Неравномерная (пятнистая) твердость	Контроль твердости	Образование паровых пузырей у поверхности детали при закалке в воде	Использовать в качестве закалочной жидкости растворы солей. Интенсивнее перемещать детали в воде
		Местное обезуглероживание	Применять защитные атмосферы

8.6. Дефекты цементации

Вид дефекта	Возможная причина	Меры предупреждения или устранения
Завышенная глубина слоя ¹	Завышенное время выдержки. Завышенная температура	Соблюдать режимы технологического процесса
	Высокая активность карбюризатора	Уменьшить активность карбюризатора
Заниженная глубина слоя ¹	Недостаточная выдержка или заниженная температура	Соблюдать режимы технологического процесса
	Низкая активность карбюризатора или малая подача газа или керосина при газовой цементации	Правильно дозировать цементирующие вещества
Цементитная сетка ¹	Высокая концентрация углерода в цементованном слое и медленное охлаждение после цементации	Правильно дозировать цементирующие вещества, ускорить охлаждение после цементации
Неравномерная глубина цементованного слоя ¹	Грязная поверхность изделия	Очистить детали перед цементацией от жира, грязи
	Неправильная упаковка цементационных контейнеров (твердая цементация)	Герметизировать цементационные контейнеры; утрамбовать карбюризатор
	Отложение сажи при газовой цементации	Правильно дозировать цементирующие вещества
Отслаивание и скалывание цементованного слоя ²	Повышенная концентрация углерода в поверхностном слое, наличие цементитной сетки	

¹ Дефект обнаруживается контролем микроструктуры. ² То же, визуально.

ния, несоблюдение периодичности его контроля, несоответствие (перепутывание) металла, нарушения технологического процесса. В табл. 8.5—8.8 приведены типичные виды дефектов термической и химико-термической обработки и периодичность контроля различных систем оборудования.

8.7. Дефекты при азотировании

Вид брака	Возможная причина	Меры предупреждения и устранения
Пониженная твердость при нормальной толщине слоя ¹	Повышенная температура процесса. Высокая степень диссоциации аммиака	Соблюдать режимы технологического процесса
Неравномерная (пятнистая) твердость слоя ¹	Попадание защитных паст на поверхность, подлежащую азотированию	Тщательно зачистить детали после нанесения пасты
	Плохое обезжиривание	Тщательно обезжирить и очистить детали
Растрескивание и шелушение слоя ²	Высокая концентрация азота на поверхности	Выдержать в атмосфере аммиака для ускорения диффузии азота. Удалить хрупкий слой
	Внутренние напряжения в слое	Выполнить стабилизирующие отпуска

¹ Дефект обнаруживается контролем микроструктуры и микротвердости.
² То же, визуально.

8.8. Периодичность контроля и систем термического оборудования

Контролируемый или регулируемый параметр	Периодичность
Печи	
Состав газовой среды	Каждый час
Приборы контроля температуры Работа горелок при газовом нагреве Работа вентиляторов Аппаратура безопасности	Ежесуточно
Точность регулировочных приборов	Еженедельно
Термопары	Ежемесячно
Равномерность температуры в различных точках печи Электрооборудование Герметичность заслонок Очистка горелок	Каждые 6 месяцев
Закалочные баки (ванны)	
Температура масла	Каждый час
Уровень, давление и циркуляция масла	Ежесуточно
Показатель свойств охлаждения масла и содержания твердых частиц в суспензии	Еженедельно
Удаление осадка и очистка масла	Ежемесячно
Тарировка системы измерения температуры, анализ на загрязнение и общий контроль установки	Каждые 6 месяцев

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буркумулов Ф. Х., Земскова И. И. Контроль качества продукции в машиностроении. М., 1982.
2. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. М., 1983.
3. Геллер Ю. А., Рахштадт А. Г. Материаловедение. М., 1983.
4. Гуляев А. П. Металловедение. М., 1977.
5. Дорофеев К. П. Основы автоматизации производства в термических цехах и контрольно-измерительные приборы. Л., 1970.
6. Деннель А. К. Методы разделения металлов по маркам без разрушения. М., 1969.
7. Журавлев В. Н., Николаева О. И. Машиностроительные стали. Справочник. М., 1968.
8. Золотаревский В. С. Механические испытания материалов. М., 1983.
9. Зуев В. И. Термическая обработка металлов. М., 1981.
10. Каменичный И. С. Краткий справочник технолога-термиста. М., 1963.
11. Козырев Ю. Г. Промышленные роботы. М., 1983.
12. Лахтин Ю. М. Металловедение и термическая обработка металлов. М., 1983.
13. Лахтин Ю. М., Коган Я. Д. Азотирование стали. М., 1976.
14. Металловедение и термическая обработка металлов/Под ред. М. Л. Бернштейна и А. Г. Рахштадта. М., 1983.
15. Новиков И. И. Теория термической обработки металлов. М., 1978.
16. Николаев Е. Н. Термическая обработка металлов и оборудование термических цехов. М., 1980.
17. Основы материаловедения/Под ред. И. И. Сидорина. М., 1976.
18. Приходько В. С. Охлаждающие среды для закалки. М., 1977.
19. Рахштадт А. Г. Пружинные стали и сплавы. М., 1971.
20. Рустем С. Л. Оборудование термических цехов. М., 1971.
21. Самошин И. Г., Токмакова Л. Е. Справочник молодого термиста. М., 1966.

22. Термическая обработка в машиностроении/Под ред. Ю. М. Лахтина и А. Г. Рахштадта. М., 1980.

23. Филинов С. А., Фиргер И. В. Справочник термиста. Л., 1975.

24. Фиргер И. В. Термическая обработка сплавов. Л., 1982.

25. Шмыков А. А. Справочник термиста. М., 1961.

26. Электротермическое оборудование/Под ред. А. П. Альтгаузена. М., 1980.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
1. Общие сведения о металлах и сплавах	4
1.1. Строение металлов и сплавов	4
1.2. Сплавы железа с углеродом. Диаграмма состояния же- лезо — цементит	8
1.3. Основы термической обработки сплавов железа с угле- родом	12
1.4. Влияние легирующих компонентов	17
1.5. Классификация термической обработки	19
1.6. Химико-термическая обработка	28
1.7. Термомеханическая обработка	28
1.8. Механические свойства металлов и методы их опреде- ления	30
2. Сталь. Марки и термическая обработка	37
2.1. Маркировка сталей	37
2.2. Конструкционные стали	38
2.3. Инструментальные стали	74
2.4. Специальные стали и сплавы	96
3. Чугуны. Марки и термическая обработка	109
3.1. Особенности термической обработки чугунов	109
3.2. Серые чугуны	110
3.3. Высокопрочные чугуны	115
3.4. Ковкие чугуны	115
4. Цветные сплавы. Марки и термическая обработка	122
4.1. Особенности термической обработки цветных сплавов	122
4.2. Медные сплавы	123
4.3. Алюминиевые сплавы	134
4.4. Магниеые сплавы	147
4.5. Титановые сплавы	151
5. Оборудование термических цехов	154
5.1. Классификация термических печей и ванн	154
5.2. Печи периодического действия	157
5.3. Печи непрерывного действия	164
5.4. Агрегаты для термической и химико-термической обра- ботки	169
5.5. Вакуумные печи и печи аэродинамического подогрева	171
5.6. Печи для ионного азотирования в тлеющем разряде	174
5.7. Нагреватели термических печей	174
5.8. Оборудование для охлаждения	178

	Стр.
5.9. Оборудование для правки	179
5.10. Установки для получения контролируемых атмосфер	180
5.11. Автоматизация и механизация технологических процессов термической обработки	181
6. Средства контроля и регулирования параметров	183
6.1. Приборы для контроля процессов термической и химико-термической обработки. Первичные преобразователи	183
6.2. Промежуточные преобразователи и вторичные приборы	197
6.3. Регулирующие устройства и исполнительные механизмы	200
6.4. Системы автоматического регулирования	201
7. Среды для термической и химико-термической обработки	203
7.1. Нагревательные среды	203
7.2. Охлаждающие среды	212
7.3. Среды для химико-термической обработки	216
8. Практика термической обработки	223
8.1. Приспособления для термической обработки	223
8.2. Нормативы времени нагрева и выдержки	223
8.3. Дефекты термической обработки, меры их предупреждения и способы устранения	227
Список рекомендуемой литературы	236

Юрий Евгеньевич Седов
Анатолий Матвеевич Адашкин

СПРАВОЧНИК
МОЛОДОГО ТЕРМИСТА

Заведующий редакцией *Г. П. Стадниченко*. Научный редактор *В. М. Зуев*. Редактор *Г. В. Садыков*. Младшие редакторы: *Н. В. Захарова, О. В. Каткова*. Художник *Е. В. Юшин*. Художественный редактор *Т. В. Панина*. Технический редактор *Ю. А. Хорева*. Корректор *Р. К. Косинова*

ИБ № 4991

Изд. № М—259. Сдано в набор 05.07.85. Подп. в печать 03.02.86. Т-05938. Формат 84×108¹/₃₂. Бум. тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Объем 12,6 усл. печ. л. 12,81 усл. кр.-стт. 11,5 уч.-изд. л. Тираж 40 000 экз. Заказ № 253. Цена 60 коп.

Издательство «Высшая школа», 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14.

Владимирская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7