

Ю.Е. Седов

Справочник молодого термиста

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 621
ББК 34.4
Ю11

Ю.Е. Седов
Ю11 Справочник молодого термиста / Ю.Е. Седов – М.: Книга по Требованию, 2023. – 238 с.

ISBN 978-5-517-98058-8

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.

ISBN 978-5-517-98058-8

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2023
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2023

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

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

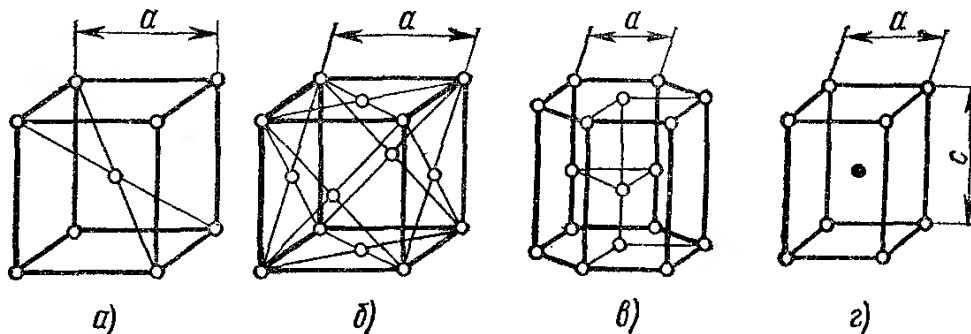


Рис. 1.1. Кристаллические решетки металлов:

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

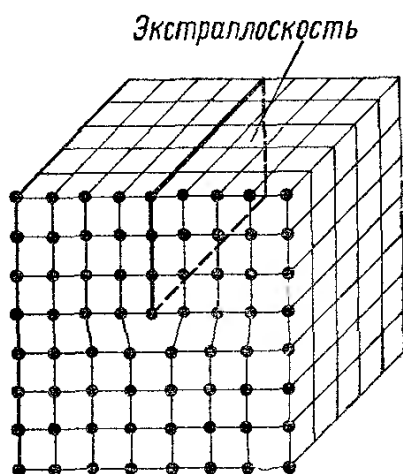


Рис. 1.2. Схема краевой дислокации в кристалле

(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 :	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			
замещения с ограниченной растворимостью	Образуются металлами с близким или одинаковым типом кристаллической решетки и большим отличием атомных диаметров	Сохраняется у каждого компонента	Промежуточные между свойствами компонентов; зависят от их соотношения
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 Лавеса.

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)

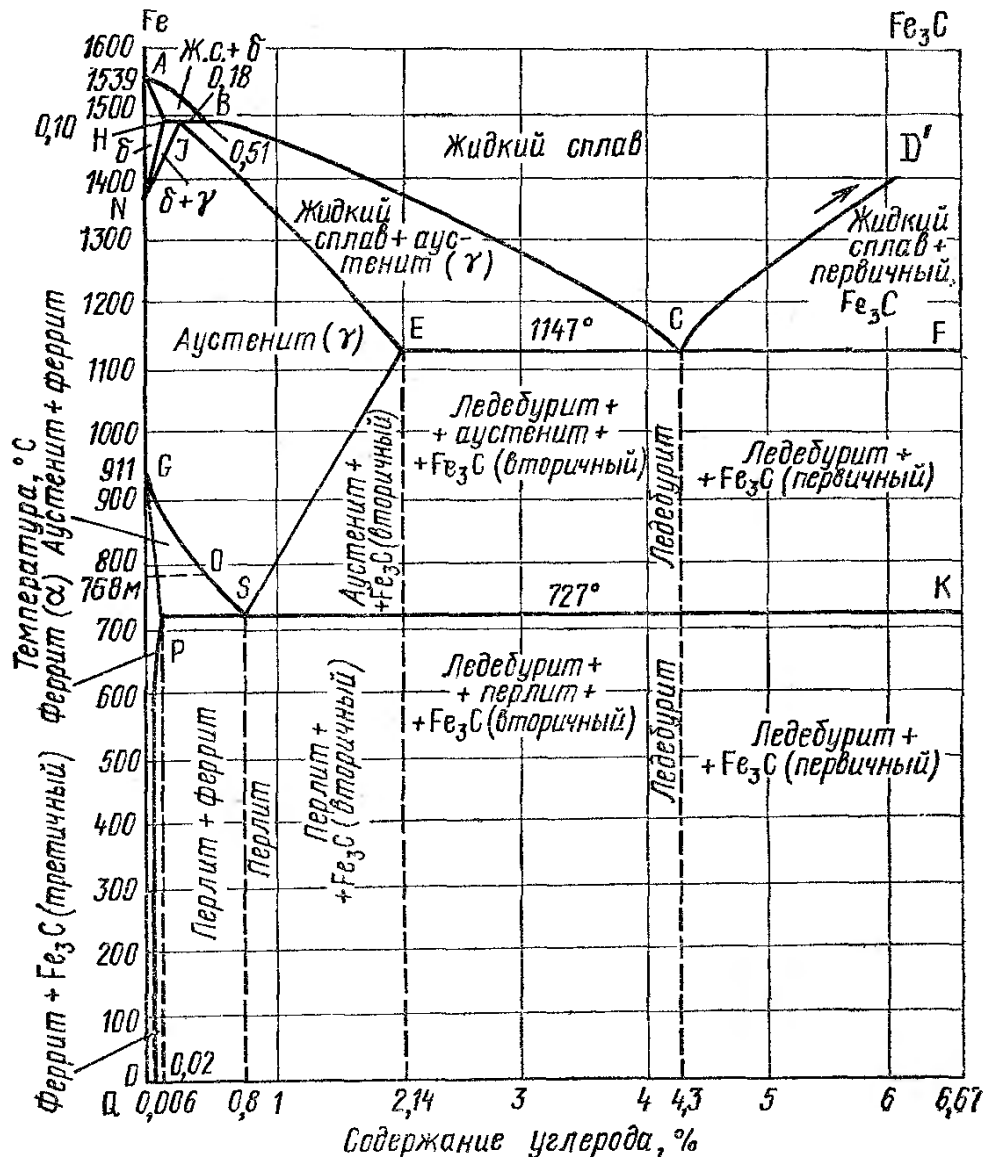


Рис. 1.3. Диаграмма состояния железо—цементит

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

Железо- γ (Fe γ) 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 Ас — 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	$\sigma_{\text{в}} \approx 250$ МПа; $\delta = 50$ %; HB 80—90; магнитен при температуре до 768 °С
Аустенит	Твердый раствор внедрения углерода в железе- γ ¹	До 2,14 % при 1147 °С	$\sigma_{\text{в}} = 500$ МПа; HB 170—200; немагнитен
Цементит ²	Химическое соединение железа с углеродом Fe ₃ C (карбид железа)	6,67 %	~HV 1000; хрупкий
Ледебурит (эвтектика)	Механическая смесь аустенита и цемента (A + Ц). Образуется при 1147 °С. При 727 °С — механическая смесь перлита и цемента (П + Ц) в результате эвтектоидного превращения аустенита в перлит	4,3 %	~HV 800; хрупкий
Перлит (эвлектоид)	Механическая смесь феррита и цемента (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		
Довзвлектоидные, эвзвлектоидные, заэвзвлектоидные	Ac_1	Перлита в аустенит	Ar_1	Эвзвлектоидное превращение аустенита в перлит	PSK	Не зависит
Довзвлектоидные	Ac_2	Потеря ферритом магнитных свойств	Ar_2	Приобретение ферритом магнитных свойств ³	$M_{0.5}$ (768° C)	Не зависит (до 0,5—0,6 % C)
Довзвлектоидные	Ac_3	Окончание превращения феррита в аустенит	Ar_3	Начало превращения аустенита в феррит	GS	Понижается с увеличением концентрации углерода
Заэвзвлектоидные	Acm	Окончание растворения цементита в аустените	Arm	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-

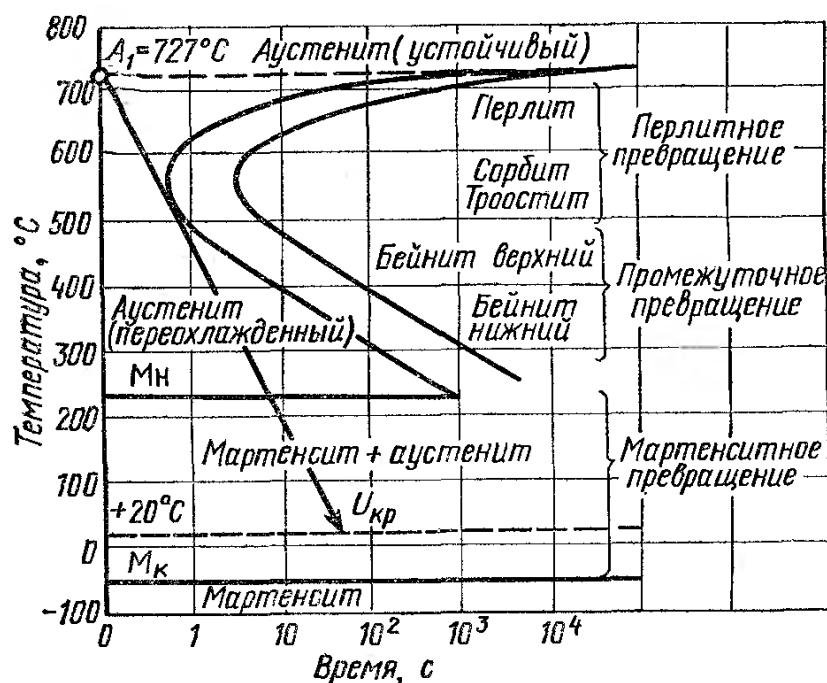


Рис. 1.4. Диаграмма изотермического превращения аустенита стали У8

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_{f1} 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 переохлажденного 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—Мн	Игольчатое		
Мартенситное превращение ²				
Мартенсит	Мн—Мк 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 Мк ниже 20 ⁴		Аустенит, сохраняющийся в результате не завершившегося до конца мартенситного превращения	Нестабилен; при охлаждении ниже Мк (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 (Мн) и конца (Мк) мартенситного превращения. ⁴ Углерод и легирующие компоненты, кроме кобальта и алюминия, снижают точки Мн и Мк; при содержании углерода в стали более 0,6 % точка Мк ниже 0 °C.