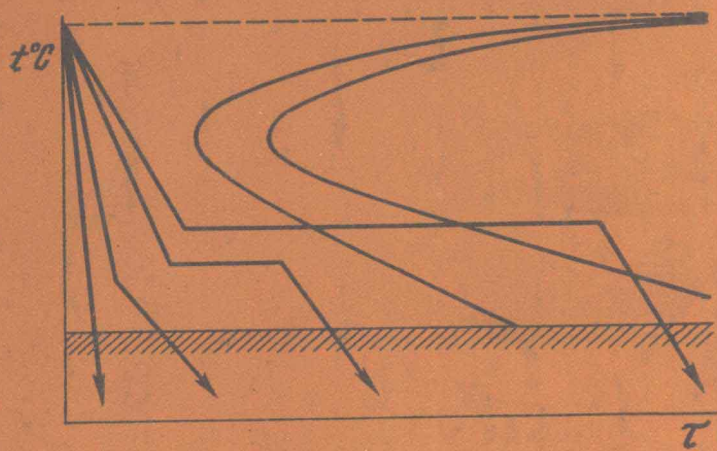




Е. Н. Николаев

Термическая обработка металлов и оборудование термических цехов



Е. Н. Николаев

Термическая обработка металлов и оборудование термических цехов

*Одобрено Ученым советом
Государственного комитета СССР
по профессионально-техническому
образованию
в качестве учебного пособия
для технических училищ*



Москва «Высшая школа» 1980

ББК 34.651
Н63
УДК 621.783

Отзывы и замечания просим направлять по адресу: *101430, Москва, К-51, Неглинная ул., 29/14, издательство «Высшая школа».*

Николаев Е. Н.

Н63 Термическая обработка металлов и оборудование термических цехов: Учеб. пособие для техн. уч.-щ. — М.: Высш. школа, 1980. — 192 с., ил. — (Профтехобразование. Терм. обраб. металлов).

В пер.: 45 к.

В книге приведены сведения о термической обработке сталей, чугунов, цветных металлов и сплавов, описано оборудование термических цехов, освещены вопросы контроля качества термической обработки и безопасности труда на предприятии.

Н 31103—288
052(01)—80 71—80

2704070000

6П4.51
ББК 34.651

Евгений Николаевич Николаев

**ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ И ОБОРУДОВАНИЕ
ТЕРМИЧЕСКИХ ЦЕХОВ**

Редактор В. А. Козлов. Научный редактор Э. Л. Демина. Переплет художника В. М. Боровкова. Художественный редактор В. П. Спинова. Технический редактор Н. В. Яшукова. Корректор Г. А. Четкина.

ИБ № 2358

Изд. № М—117.

Сдано в набор 25.01.80.

Подписано к печати

04.06.80.

Т-11719.

Формат 60×90/16.

Бум. тип. № 2.

Гарнитура литературная.

Печать высокая.

Объем 12 усл. печ. л.

13,15 уч.-изд. л.

Тираж 25000 экз.

Зак. № 649.

Цена 45 коп.

Издательство «Высшая школа», Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14.

Великолукская городская типография управления издательств,
полиграфии и книжной торговли Псковского облисполкома,
г. Великие Луки, ул. Полиграфистов, 78/12.

© Издательство «Высшая школа», 1980

ВВЕДЕНИЕ

Большую роль в ускорении технического прогресса, механизации и автоматизации производственных процессов играет машиностроительная промышленность. Машиностроение — важнейшее звено народного хозяйства страны, сердцевина всей тяжелой индустрии.

Непрерывный рост производства, осуществляемый в нашей стране в соответствии с планами развития народного хозяйства, требует повышения качества, надежности и долговечности машин. В повышении качества, надежности и долговечности машин большая роль принадлежит термической обработке как одному из эффективных и экономичных методов упрочнения металлов и металлических сплавов.

Термической обработкой называют процесс тепловой обработки металлов и сплавов с целью изменения их структуры, а следовательно, и свойств, заключающийся в нагреве до определенной температуры, выдержке при этой температуре и последующем охлаждении с заданной скоростью.

Термическая обработка применяется как промежуточная операция для улучшения технологических свойств металла (штампуемости, обрабатываемости резанием и др.) и как окончательная — для придания металлу комплекса механических, физических и химических свойств. Термическая обработка является составной частью металловедения.

Металловедением называется наука, изучающая зависимость между составом, структурой и свойствами металлов и сплавов.

Выдающийся русский ученый-металлург П. П. Аносов, впервые применив микроскоп для исследования внутреннего строения металлов (1831), установил, что свойства стали зависят не только от химического состава, но и от структуры. Он впервые применил газовую цементацию, один из наиболее прогрессивных методов науглероживания стали; первый организовал производство клинковой стали, превосходившей прославленную сталь дамасских мастеров.

Научное объяснение процессов термической обработки впервые было дано русским ученым-металлургом Д. К. Черновым. В 1869 г. он доказал, что свойства стали определяются ее внутренним строением и что каждый металл (сплав) имеет определенные критиче-

ские температуры (критические точки), при переходе через которые скачкообразно изменяются его строение и свойства.

Научное обоснование Д. К. Черновым критических температур и открытие Д. И. Менделеевым (1869) периодической системы элементов явились прочным фундаментом развития науки о металлах и способах их термической обработки.

Большой вклад в развитие науки о термической и химико-термической обработке металлов и сплавов, в разработку прогрессивных технологических процессов внесли советские ученые Н. С. Курнаков, А. А. Байков, Н. Т. Гудцов, С. С. Штейнберг, А. А. Бочвар, Н. А. Минкевич, Г. В. Курдюмов, В. П. Вологдин и др.

В последние годы были разработаны процессы термомеханической обработки, ионное азотирование, импульсная закалка и др.; разработаны основы легирования стали, созданы новые стали и сплавы.

Достижения в области технологии термической и химико-термической обработки характеризуются широким внедрением комплексной механизации и автоматизации процессов, созданием нового оборудования и приборов, обеспечивающих непрерывный рост производительности труда и выпуск продукции высокого качества.

ГЛАВА I ОСНОВЫ МЕТАЛЛОВЕДЕНИЯ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

§ 1. Строение металлов и сплавов

Металлами называются химические элементы, характерными признаками которых являются непрозрачность, блеск, хорошая проводимость тепла и электрического тока, а для многих металлов также ковкость и способность свариваться. Металлы состоят из большого количества кристаллов или зерен. Зерна состоят из отдельных блоков размерами $1 \cdot 10^{-5}$ — $1 \cdot 10^{-3}$ см. Такое строение зерна носит название *мозаичной структуры*, а составляющие ее блоки называются *блоками мозаики*. Блоки объединяются в более крупные соединения, называемые *фрагментами*. Перечисленные выше характерные свойства металлов определяются их электронным строением.

Металлы относятся к твердым кристаллическим телам, имеющим упорядоченное взаимное расположение атомов, которое можно представить в виде кристаллической решетки (рис. 1). Наиболее часто металлы имеют кристаллические решетки следующих типов: кубическую объемно-центрированную (атомы в углах и в центре куба) имеют натрий, хром, вольфрам, ванадий, железо и др.

($a = 2,87 \div 8,89 \text{ \AA}$); гранецентрированную (атомы по углам куба и в центре каждой грани) имеют алюминий, кальций, никель, медь, серебро ($a = 3,6 \div 4,9 \text{ \AA}$); гексагональную (атомы в углах и центре шестигранных оснований призмы и три атома в средней плоскости призмы) имеют магний, цинк, титан, бериллий и др. ($a = 2,26 \div 3,2 \text{ \AA}$); ($c = 3,59 \div 5,6 \text{ \AA}$). Расположение атомов в кристаллической решетке и ее параметры a и c определяют рентгеноструктурным анализом.

Атомы в кристаллических решетках в разных направлениях ее находятся на разных расстояниях и, следовательно, в разных плоскостях атомы расположены с различной плотностью. При таком

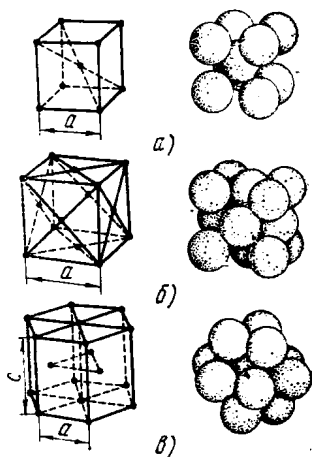


Рис. 1. Элементарные кристаллические решетки
а — кубическая объемно-центрированная, б — кубическая гранецентрированная, в — гексагональная; а, с — параметры решетки, измеряемые в ангстремах
(1 $\text{\AA}$ = 10^{-8} см)

расположении атомов свойства в различных направлениях различны. Зависимость физических свойств — механических, тепловых, электрических, магнитных, оптических от направления испытания — называется **анизотропией**.

Некоторые металлы (железо, олово, никель и др.) обладают способностью изменять внутреннее строение в твердом состоянии. Они имеют два и более типа кристаллических решеток при неодинаковых температурах. Существование одного и того же металла в различных кристаллических формах называется **аллотропией**, а процесс перестройки атомов одного типа кристаллической решетки в другой — **аллотропическим** или **полиморфным** превращением. Аллотропические формы обычно обозначают буквами α , β , γ , δ и т. д. (рис. 2).

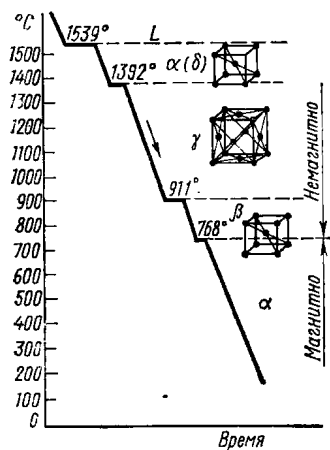


Рис. 2. Кривые охлаждения чистого железа (аллотропические превращения)

да до 0,02%, а γ -Fe — до 2,14%). Это имеет практическое значение при термической обработке стали и чугуна.

Кроме железа ферромагнитными свойствами, т. е. способностью хорошо намагничиваться, обладают также кобальт и никель.

Магнитное превращение отличается от аллотропического некоторыми особенностями, в частности оно не сопровождается изменением кристаллической решетки.

В реальных металлах, применяемых в технике, кристаллические решетки имеют ряд несовершенств или дефектов, т. е. отклонения от правильного геометрического строения. Поэтому металлы имеют прочность значительно меньшую, чем они должны иметь теоретически. Образование дефектов в металле связано с подвижностью его атомов. Атомы, расположенные в узлах кристаллической решетки, находятся в непрерывном тепловом движении (колебании) около узлов кристаллической решетки. Они могут оставлять положение равновесия и перемещаться внутри кристаллической решетки.

Температура плавления железа 1539 °C. При этой температуре начинается кристаллизация жидкого железа, в результате которой железо Fe_L приобретает структуру объемно-центрированного куба.

При температуре 1392 °C кристаллы Fe_α переходят в Fe_γ с гранецентрированной решеткой. При температуре 911 °C структура гранецентрированного куба переходит вновь в решетку объемно-центрированного куба Fe_α , которая сохраняется до комнатной температуры. Температура 768 °C называется точкой Кюри: при этой температуре изменяются магнитные свойства железа. Различают две важнейшие модификации: α - и γ -железо; α -железо магнитно, γ -железо немагнитно; γ -железо обладает способностью хорошо растворять углерод (α -Fe растворяет углерода до 0,02%, а γ -Fe — до 2,14%). Это имеет практическое значение

ки, а иногда и покидать ее. Перемещение атомов какого-либо элемента (металла или неметалла) в решетке называется *диффузией*. Явление перемещения атомов элемента в его собственной решетке называется *самодиффузией*.

Вышедший из положения равновесия атом называют *дислоцированным*, образовавшееся свободное место в узле кристаллической решетки — «дыркой» или *вакансией*. Вакансии и дислоцированные атомы представляют собой точечные дефекты кристаллической решетки и являются причиной ее искажения (рис. 3). Дислоцированный атом и вакансии не остаются неподвижными, они перемещаются по решетке.

Наличие несовершенств (дефектов) в атомно - кристаллических решетках реальных металлов объясняет некоторые особенности их механических и физических свойств и, в частности, то обстоятельство, что реальные металлы имеют прочность, во много раз меньшую, чем они должны иметь теоретически.

Основным фактором, определяющим уровень механических свойств металлов, является количество и характер распределения дефектов кристаллического строения. Когда их сравнительно много, появляется упрочняющее действие (рис. 4).

Предел прочности современных конструкционных сталей, достигнутый легированием и термической обработкой, составляет 1766—2158 МПа (180—220 кгс/мм²), а нитевидных кристаллов (практически без дефектов) чистого железа равен 13 106 МПа (1336 кгс/мм²).

Сплавами называются сложные тела, полученные сплавлением или спеканием двух или более металлов или металлов с неметаллами. По числу входящих компонентов сплавы подразделяют на двойные, тройные и т. д., по характеру металла, являющегося основой сплава, — на черные (сталь, чугун) и цветные (латунь, бронза и др.). Внутреннее строение сплавов, как и металлов, кристаллическое и определяется взаимосвязью между составляющими компо-

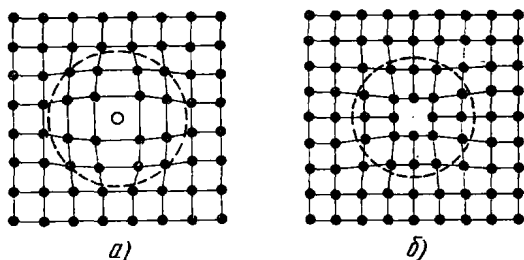


Рис. 3. Искажения кристаллической решетки около дислоцированного атома (а) и около вакансии (б)

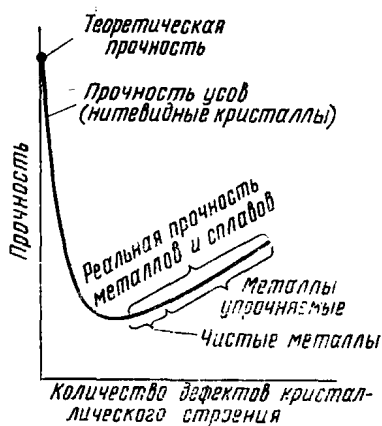


Рис. 4. Зависимость прочности от количества дефектов кристаллического строения

нентами. Если компоненты сплава взаимно не растворяются в твердом состоянии, то такие сплавы называются *механической смесью*. В таких сплавах имеется две или несколько типов кристаллических решеток. В случае, если компоненты в сплаве вступают в химическое взаимодействие, то образуется *химическое соединение*. Его строение и свойства резко отличаются от строения и свойств элементов, из которых оно состоит. С образованием химического соединения создается новое вещество с новыми качествами. Если компоненты сплава взаимно растворяются, то образуется *твердый раствор*. Это возможно в том случае, если атомы различных веществ, смешиваясь в различных соотношениях, способны образовывать общую кристаллическую решетку.

Различают твердые растворы замещения и внедрения. В твердых растворах замещения атомы растворенного элемента замещают атомы элемента-растворителя в общей кристаллической решетке. Растворителем считается тот элемент, кристаллическая решетка которого сохраняется в твердом растворе.

В твердых растворах внедрения атомы растворенного элемента располагаются внутри кристаллической решетки элемента-растворителя. Твердые растворы внедрения обычно образуются при растворении в металлах неметаллических элементов (углерода, азота, бора, кислорода).

§ 2. Кристаллизация металлов и сплавов

Процесс кристаллизации. При переходе металла из жидкого состояния в твердое образуются кристаллы. Такой процесс называ-

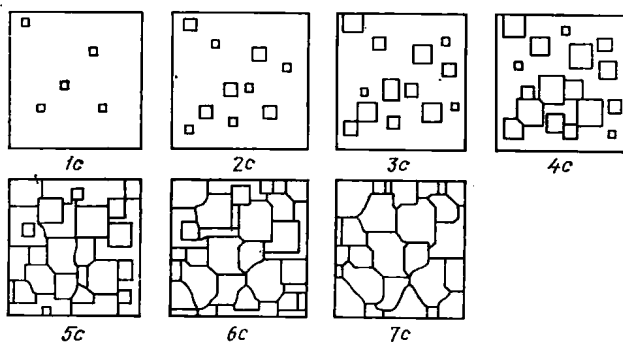


Рис. 5. Схема роста зерен при кристаллизации

ют *кристаллизацией*. Процесс кристаллизации складывается из образования центров кристаллизации («зародышей») и их роста.

На рис. 5 показана схема роста зерен при кристаллизации. В первые моменты кристаллы растут свободно, сохраняя правильную геометрическую форму, так как их образованию еще не препятствуют соседние кристаллы, затем рост кристаллов протекает в направлении жидкого металла. По мере роста кристаллов коли-

чество жидкого металла (расплава) уменьшается, происходит столкновение растущих кристаллов, в результате чего искажается их правильная геометрическая форма. Такие кристаллы называются кристаллитами, полиэдрами или зернами.

Кривые охлаждения. Процесс кристаллизации металла можно рассматривать по кривой охлаждения (рис. 6), которую получают опытным путем. Кривая показывает, что температура жидкого металла понижается почти равномерно.

Когда металл охладится до некоторой температуры T_s (рис. 6, а, точка а), начинается кристаллизация, дальнейшее падение температуры прекратится, несмотря на непрерывную отдачу тепла окружающей среде. Следовательно, в металле идет процесс выделения тепла. Выделяющееся при процессе кристаллизации тепло называется скрытой теплотой кристаллизации. К моменту, соответствующему точке б, кристаллизация заканчивается, весь металл

перейдет из жидкого в твердое состояние и далее температура будет опять постепенно понижаться. В реальных условиях металл, охладившись до температуры T_s , еще не начнет кристаллизоваться, а останется некоторое время жидким (рис. 6, б). В это время металл переохлаждается до некоторой температуры T_n , начинается интенсивная кристаллизация. Разность температур ($T_s - T_n$) называется *степенью переохлаждения*. Она зависит от природы сплава, его чистоты и скорости охлаждения. Чем больше скорость охлаждения, тем больше степень переохлаждения. Петля на кривой охлаждения показывает, что кристаллизация сопровождается выделением тепла, которое повышает температуру сплава до T_s , подерживая ее до полного затвердевания металла.

От степени переохлаждения (ΔT) зависит скорость образования зародышей (центров кристаллизации) и скорость роста кристаллов (зерен). С увеличением переохлаждения возрастают скорости обоих процессов, достигая максимального значения при определенных степенях переохлаждения, и затем замедляются (рис. 7).

Число зарождающихся в единицу времени зародышей имеет размерность $\text{мм}^3 \cdot \text{с}$ (число зародышей, возникающих в 1 мм^3 за одну секунду).

Скорость роста кристаллов есть скорость увеличения линейных размеров растущего кристалла в единицу времени (мм/с).

Размер образующихся кристаллов определяется соотношением скоростей возникновения центров кристаллизации и их роста.

При малой степени переохлаждения число зародышей крайне мало, что приводит к образованию крупнокристаллической структуры. Вследствие малой скорости роста кристаллов на их грани-

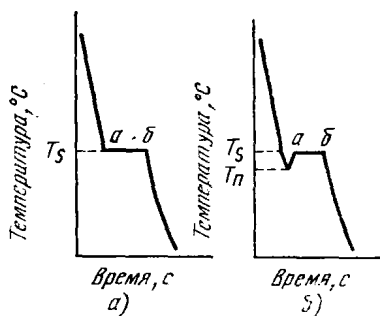


Рис. 6. Кривые охлаждения:
а — без переохлаждения, б — с переохлаждением

цах скапливаются легкоплавкие и вредные примеси — газы, окислы и шлаковые включения.

С увеличением степени переохлаждения скорость роста кристаллов почти не изменяется, а число центров кристаллизации растет, что приводит к образованию мелкозернистой структуры.

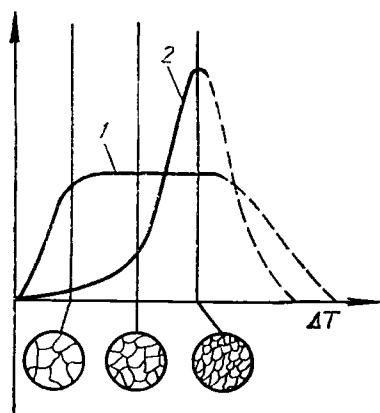


Рис. 7. Влияние степени переохлаждения (ΔT) на число центров (зародышей) кристаллизации (2) и скорость их роста (1)

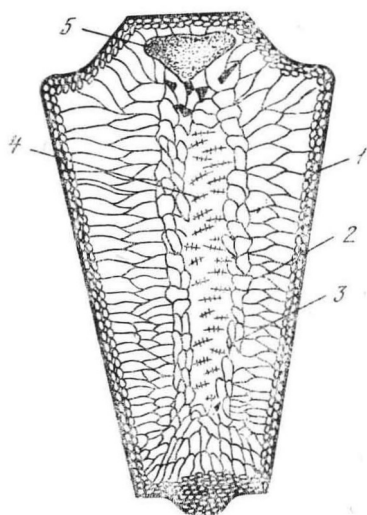


Рис. 8. Схема продольного разреза стального слитка

Увеличение степени переохлаждения достигается при заливке металла в металлические формы. Для регулирования размеров и формы зерен используют введение в расплавленный металл веществ (различных примесей-кристалликов окиси алюминия, шлаковые включения, частицы футеровки и т. д.), создающих множество центров кристаллизации. Этот процесс называют *модифицированием*, а вводимые вещества — *модификаторами*.

Строение стального слитка. В металлургическом производстве выплавленную сталь заливают в металлические формы, называемые *изложницами*. Сталь в изложнице охлаждается неравномерно (рис. 8). В местах, соприкасающихся со стенками изложницы, сталь быстро охлаждается, затвердевая в виде мелкозернистой плотной корки 1. По направлению к центру слитка охлаждение происходит медленнее, в результате чего образуются длинные столбчатые кристаллы 2, располагающиеся перпендикулярно стенкам изложницы. В центральной (осевой) части слитка охлаждение происходит еще медленнее. Эта часть слитка состоит из равноосных кристаллов 3, расположенных беспорядочно, и мелких древовидных кристаллов — дендридов 4. Дендриды возникают из-за недостатка жидкого металла для образования сплошного кристалла. В верхней части слитка образуется усадочная раковина 5. Центральная часть слитка застывает позже остальных, и в ней сосредоточивается значи-

тельное количество серы, фосфора и других примесей, ухудшающих механические свойства стали. Сердцевина слитка обладает

и другим недостатком — она менее плотна, чем наружная часть.

К наиболее часто встречающимся дефектам стального слитка относятся: усадочные раковины, ликвация, флокены, газовые пузыри, неметаллические включения и т. п.

Усадочная раковина представляет собой полость, образующуюся в результате сокращения объема металла при затвердевании. Эта часть слитка, составляющая 12—20%, идет в отходы. Остальную часть металла применяют для различного вида проката — листов, штанг, труб, проволоки и т. п.

Ликвация — это неравномерное расположение химических элементов в слитке. Ликвацию в большинстве случаев устраняют длительным отжигом при высокой температуре нагрева.

Газовые пузыри образуются в середине слитка или под коркой, когда в расплавленном металле было растворено много газов.

Плены — приварившиеся капли стали, возникающие вследствие разбрызгивания металла при заливке в изложницы.

Усадочная рыхлость — мелкие пустоты, скапливающиеся в центральной части слитка в результате неравномерного охлаждения и уменьшения объема слитка при охлаждении.

Неметаллические включения — частицы окиси алюминия, силикаты (кварц, стекло), печной шлак и др.

Флокены — это маленькие нитевидные трещины, дающие в изломе металла белые пятна.

§ 3. Диаграммы состояния

При исследовании строения сплавов, при выборе режимов термической обработки, температуры разливки жидких сплавов, режимов обработки давлением и т. п. используют диаграммы состояния. Диаграммы состояния представляют собой график, по оси ординат которого откладывают температуру, а по оси абсцисс — состав сплава.

В металловедении пользуются следующими терминами и понятиями. *Сплавы*, состоящие из двух или нескольких элементов различного количественного состава, называются *системами*.

Элементы (металлы и неметаллы), образующие сплавы, называются *компонентами*.

Однородная часть сплава называется *фазой*. В сплавах фазами могут быть чистые металлы, твердые растворы, химические соединения. При переходе границ раздела двух фаз свойства изменяются скачкообразно.

Чистые металлы представляют однокомпонентные системы, сплавы из двух элементов — двухкомпонентные системы и т. д.

Диаграммы состояния дают наглядное представление о зависимости фазового состава и структуры сплава от температуры и концентрации. Они дают возможность предвидеть изменение свойств сплавов и выбирать оптимальные режимы термической обработки. Большинство сплавов, применяемых в технике, состоит более чем из двух элементов. Если количество третьего элемента незначитель-

но, то систему можно практически рассматривать как двойную. Если концентрация третьего элемента значительна или когда влияние третьего элемента на структуру и свойства очень велико, строят диаграммы состояния тройных сплавов.

Диаграммы состояния, дающие наглядные представления о превращениях в двойных металлургических сплавах при нагреве и охлаждении, строят опытным путем.

Существует несколько видов диаграмм состояний двойных сплавов.

Диаграмма первого типа характеризует сплавы, со-

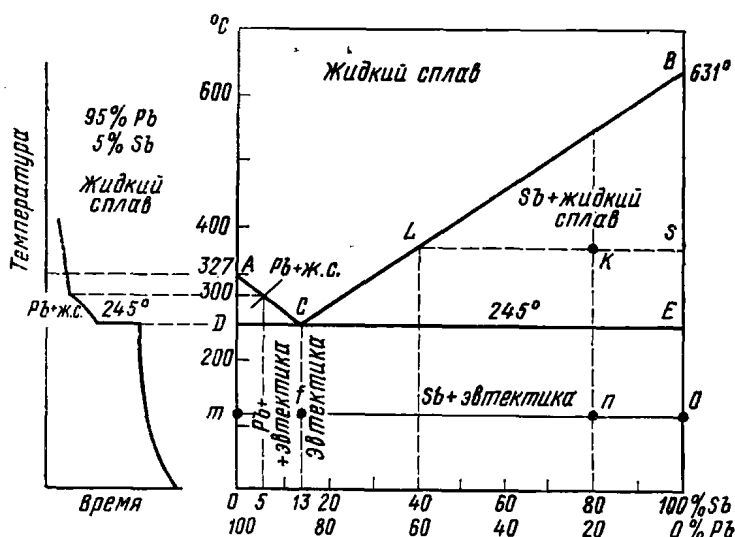


Рис. 9. Диаграмма состояния сплавов из двух компонентов (Pb—Sb), образующих механическую смесь

стоящие из элементов, которые в твердом состоянии образуют механическую смесь (эвтектику) (рис. 9). В таких сплавах различная концентрация элементов вызывает изменение температуры начала кристаллизации (линия ACB), а температура конца затвердевания одинакова для всех сплавов данной системы и не зависит от их состава (линия DCE).

Остановка на кривой охлаждения свидетельствует о том, что процесс превращения происходит полностью.

Линию ACB, соединяющую все точки начала кристаллизации сплавов, называют линией ликвидуса (по латыни означает жидкий). Все сплавы, лежащие выше этой линии, находятся в жидком состоянии. Линию конца затвердевания сплавов DCE называют линией солидуса (по латыни означает твердый). Все сплавы, лежащие ниже линии солидуса, находятся в твердом состоянии. В промежутке между этими линиями сплав состоит из двух фаз: жидкой и твердой. Температура плавления свинца 327°C, а сурьмы 631°C. Сплав из 13% сурьмы и 87% свинца является эвтектическим.

Температуры, при которых в сплаве происходят фазовые превращения, называются критическими. Критическая точка, соответствующая эвтектическому превращению, равна 245°C . Сплавы, содержащие менее 13% Sb, называют *доэвтектическими*, а сплавы, содержащие больше 13% Sb, *заэвтектическими*. Ниже линии *DC* застывшие сплавы состоят из кристаллов свинца и эвтектики, а ниже линии *CE* — из кристаллов сурьмы и эвтектики.

В диаграмме второго типа (рис. 10) оба компонента в жидком и твердом состояниях растворяются друг в друге в любой пропорции, т. е. образуют неограниченные твердые растворы и не образуют химических соединений.

Примером может служить сплав, состоящий из меди и никеля.

Температура плавления чистого никеля 1452°C , а меди 1083°C .

В интервале между этими температурами выпадают кристаллы твердого раствора. Верхняя линия диаграммы *ACB* — линия ликвидуса, а нижняя *ADB* — линия солидуса. Выше линии *ACB* сплавы находятся в жидком состоянии. Между линиями *ACB* и *ADB* сплавы состоят из кристаллов твердого раствора и жидкого сплава, а ниже линии *ADB* — из одного твердого раствора. Такую диаграмму имеют также сплавы: железо — кобальт, золото — свинец и др.

В диаграмме третьего типа (рис. 11) оба компонента ограничено растворимы в твердом состоянии и не образуют химических соединений. Примером может служить сплав алюминий — кремний, железо — медь и др.

Компоненты *A* и *B* такой системы обладают в жидком состоянии неограниченной растворимостью друг в друге, а в твердом — ограниченной, меняющейся в зависимости от температуры.

Выше линии *ACB* (ликвидуса) расположена область жидкого сплава. Линия *ADCEB* — линия солидуса, *DCE* — линия эвтекти-

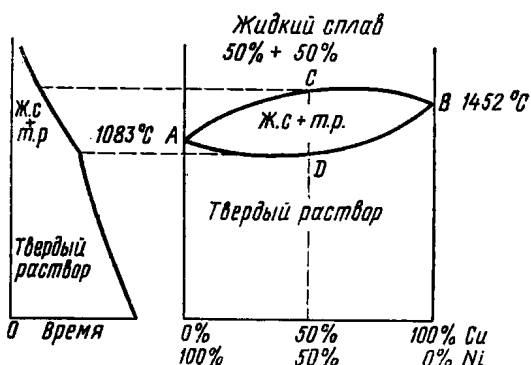


Рис. 10. Диаграмма состояния сплавов, оба компонента которых неограниченно растворяются друг в друге в жидком и твердом состояниях и не образуют химических соединений

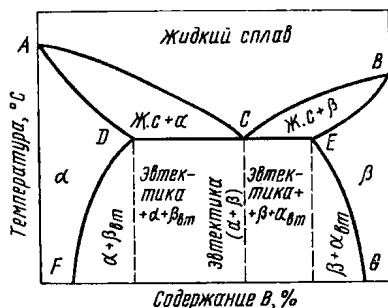


Рис. 11. Диаграмма состояния сплавов, оба компонента которых неограниченно растворимы в жидком состоянии, ограниченно в твердом и не образуют химических соединений

ческого превращения. В областях ниже линий AD и BE образуются кристаллы α и β .

В точке C образуется эвтектика, состоящая из смеси кристаллов твердых растворов α и β .

В диаграмме четвертого типа (рис. 12) оба компонента нерастворимы в твердом состоянии и образуют устойчивое химическое соединение A_nB_m , которое образует с компонентами A и B простейшие диаграммы состояния.

Левая часть $A - A_nB_m$ представляет случай отсутствия раство-

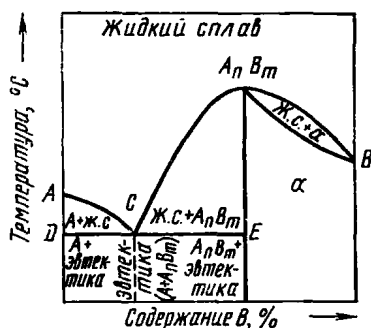


Рис. 12. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которого образуют устойчивое химическое соединение

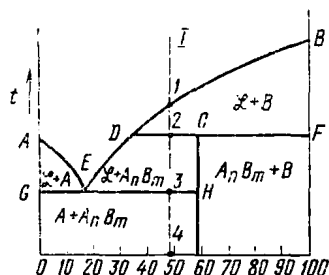


Рис. 13. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которых неограниченно растворимы в жидком состоянии, нерастворимы в твердом и образуют неустойчивые химические соединения

римости компонентов в твердом состоянии, а правая часть $A_nB_m - B$ — случай полной взаимной растворимости. К таким сплавам относятся магний — висмут, магний — олово и др.

Диаграмма состояния пятого типа (рис. 13). Оба компонента сплава образуют неустойчивое химическое соединение, которое при нагревании до определенной температуры разлагается на жидкость и один из компонентов.

На линии DCF находятся в равновесии три фазы: жидкость концентрации D , кристаллы компонента B и кристаллы химического соединения A_nB_m . При нагреве неустойчивое химическое соединение A_nB_m распадается на жидкость концентрации D и кристаллы B . При охлаждении произойдет обратная реакция.

Установлена зависимость механических, физических и технологических свойств (прочность, пластичность, обрабатываемость резанием и давлением и т. д.) сплавов с их диаграммами состояния.

§ 4. Железоуглеродистые сплавы

Для железоуглеродистых сплавов могут быть построены две диаграммы состояния: железо — цементит (карбид железа — химическое соединение железа с углеродом) $Fe - Fe_3C$ и железо — гра-

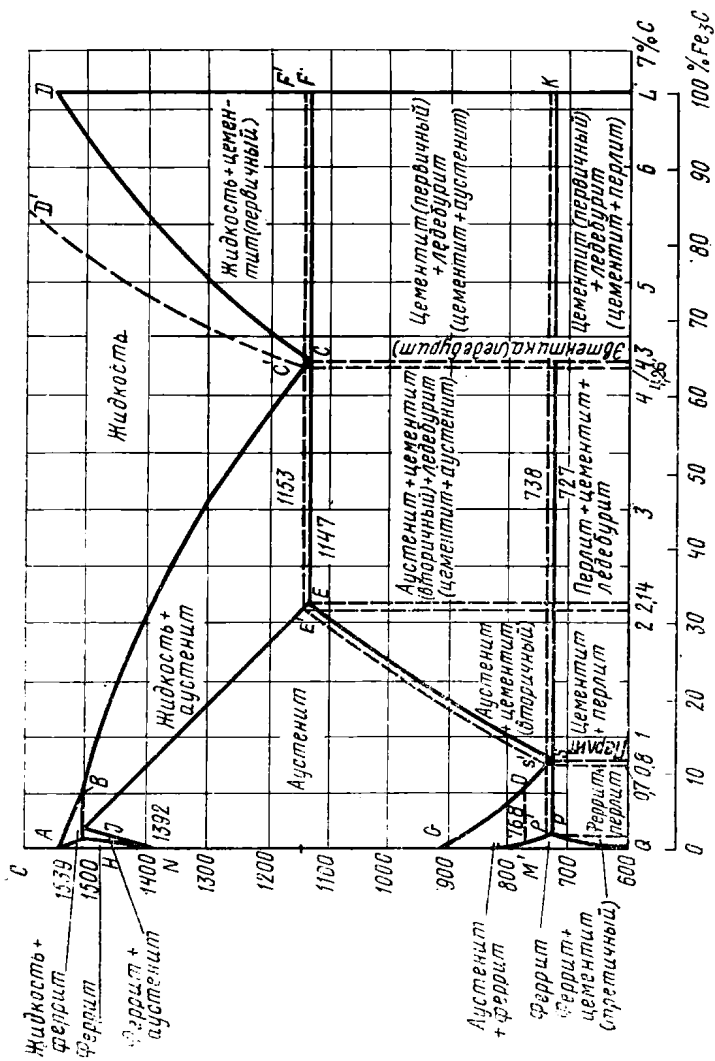


Рис. 14. Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов (сплошные линии — система Fe — Fe₃C, пунктирные линии — система Fe — C)

фит Fe—C. Диаграмма состояния Fe—Fe₃C характеризует фазовый состав и превращения в сплавах от чистого железа до цементита (рис. 14).

По вертикальной оси диаграммы откладывается температура, по горизонтальной оси — содержание (в %) углерода и цементита.

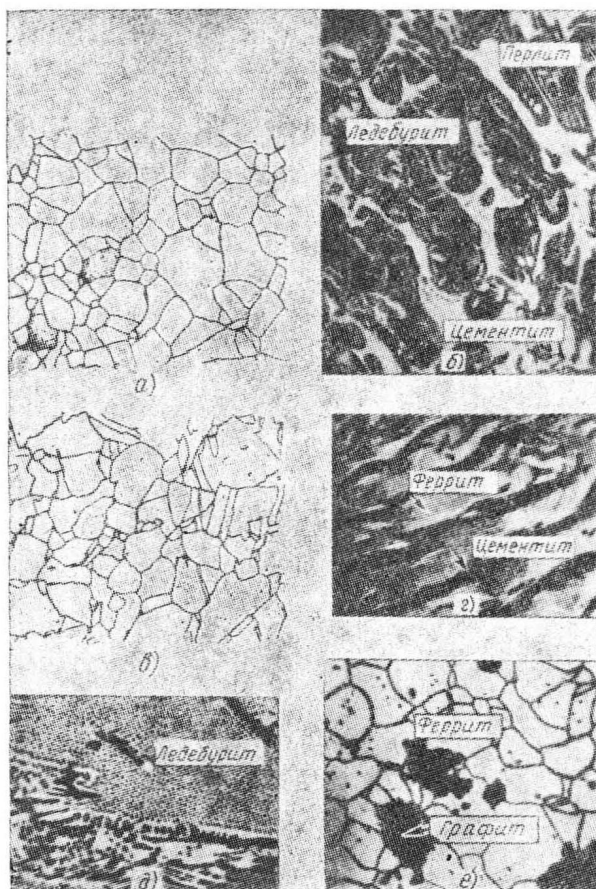


Рис. 15. Основные микроструктуры стали и чугуна:
а — феррит $\times 500$, б — цементит $\times 250$, в — аустенит $\times 500$,
г — пластинчатый перлит $\times 300$, д — ледебурит $\times 500$, е —
графит $\times 250$

Точка А на диаграмме соответствует температуре плавления чистого железа 1539°C , точка D — температуре плавления цементита 1550°C .

Линия ABCD — линия ликвидуса; она соответствует температурам начала затвердевания сплавов. Выше линии ликвидуса сплавы находятся только в жидком состоянии.