

Тема:1

ОБЩЕЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О СТРОЕНИИ МЕТАЛЛОВ

- 1.1. Кристаллические структуры металлов и сплавов
- 1.2. Дефекты строения реальных кристаллов
- 1.3. Кристаллизация металлов
- 1.4. Полиморфизм металлов
- 1.5. Основные сведения о металлических сплавах
- 1.6. Диаграммы состояния двойных сплавов
 - 1.6.1. Диаграмма состояния для сплавов, компоненты которых нерастворимы в твердом состоянии (I рода)
 - 1.6.2. Диаграмма состояния для сплавов, компоненты которых неограниченно растворимы в твердом состоянии (II рода)
 - 1.6.3. Диаграмма состояния для сплавов, компоненты которых ограниченно растворимы в твердом состоянии (III рода)
 - 1.6.4. Диаграмма состояния для сплавов, компоненты которых образуют устойчивое химическое соединение (IV рода)
 - 1.6.5. Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния

Тема:1

1.1.Кристаллические структуры металлов и сплавов

Металлы и их сплавы в твердом состоянии представляют собой кристаллические тела, в которых атомы располагаются относительно друг друга в определенном, геометрически правильном порядке, образуя кристаллическую структуру. Такое закономерное, упорядоченное пространственное размещение атомов называется *кристаллической решеткой*.

Поскольку атомы стремятся занять наименьший объем, существует всего 14 типов кристаллических решеток, свойственных элементам периодической системы. Наиболее распространенными среди металлов являются следующие *типы решеток* (рис. 1.1, б - г; линии на схемах условные; в действительности никаких линий не существует, а атомы колеблются с большой частотой возле точек равновесия, т. е. узлов решетки):

- объемно-центрированная кубическая (ОЦК) — атомы расположены в вершинах и в центре куба; такую решетку имеют Na, V, Nb, Fe_α, K, Cr, W и другие металлы;
- гранецентрированная кубическая (ГЦК) — атомы расположены в вершинах куба и в центре каждой грани; решетку такого типа имеют Pb, Al, Ni, Ag, Au, Cu, Co, Fe_γ и другие металлы;
- гексоганальная плотноупакованная (ГПУ) — четырнадцать атомов расположены в вершинах и центре шестиугольных оснований призмы, а три — в средней плоскости призмы; такую решетку имеют Mg, Ti, Re, Zn, Hf, Be, Ca и другие металлы.

Тема:1

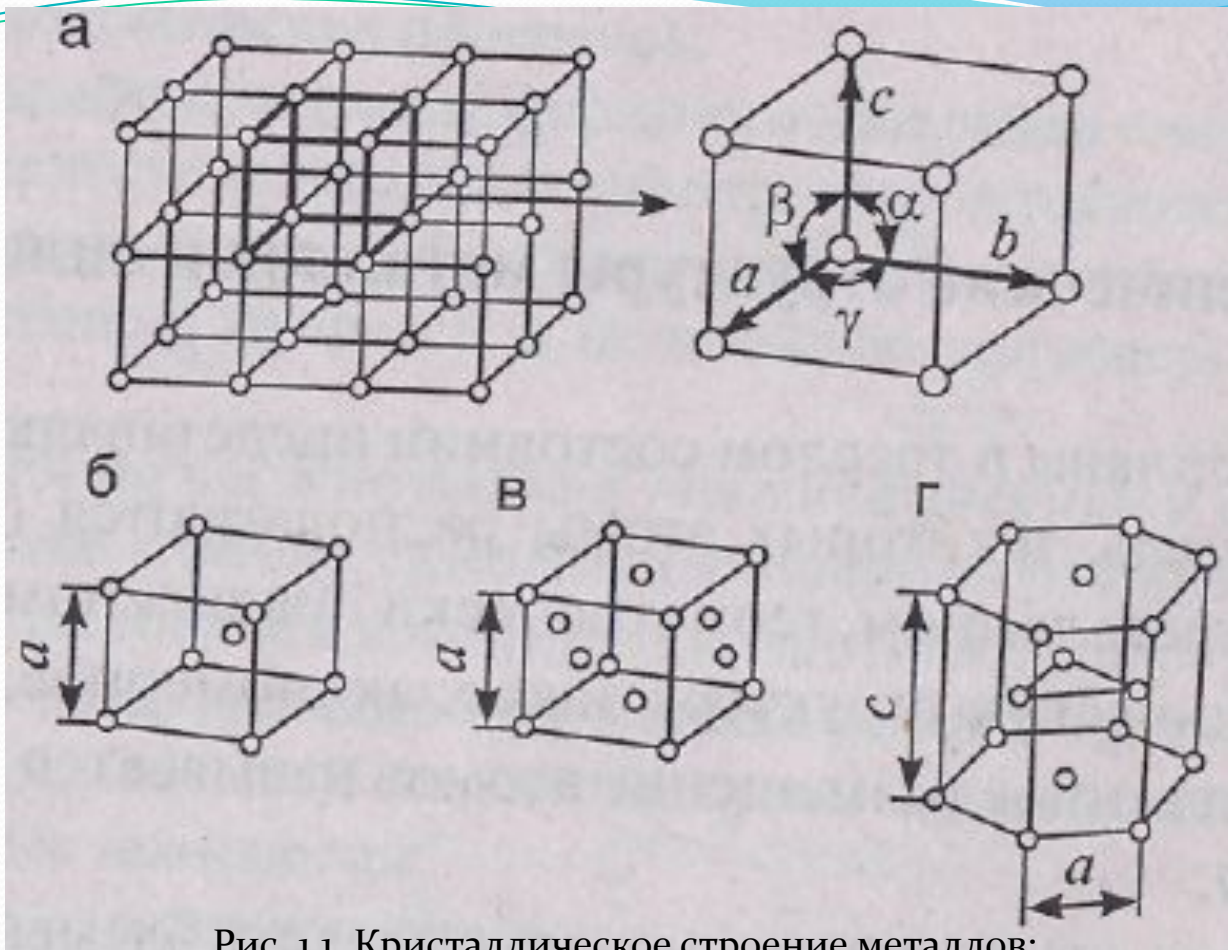


Рис. 1.1. Кристаллическое строение металлов:

a - схема кристаллической решетки; $б$ - объемно-центрированная кубическая;
 $в$ - гранецентрированная кубическая; $г$ - гексагональная плотноупакованная

Кристаллическую решетку характеризуют следующие основные параметры: период, координационное число, базис и коэффициент компактности.

Тема:1

1.2. Дефекты строения реальных кристаллов

Существующие в природе кристаллы, которые получили название *реальных*, не обладают совершенной атомно-кристаллической структурой. Их решетки имеют различного рода дефекты, т. е. отклонения от правильного периодического расположения атомов.

Дефекты кристаллического строения с учетом их пространственного измерения подразделяют на точечные (нульмерные), линейные (одномерные), поверхностные (двухмерные) и объемные (трехмерные).

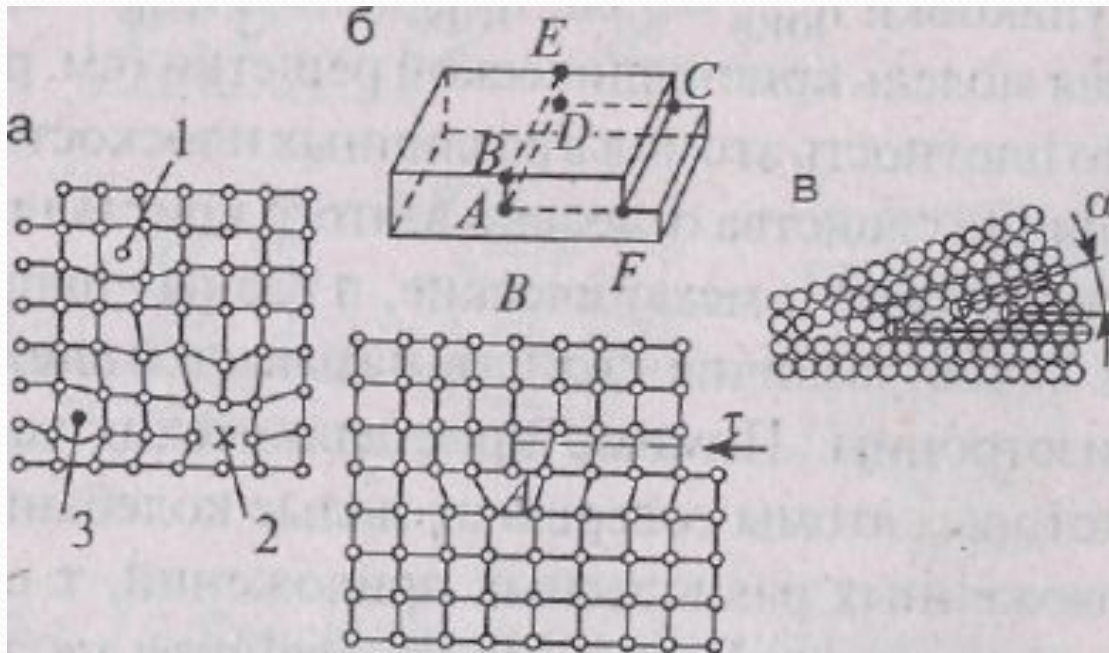


Рис. 1.2. Дефекты кристаллического строения:
а - точечные (1 - дислоцированный атом; 2 - вакансия; 3 - примесный атом внедрения); б - линейные (τ - вектор сдвига); в - поверхностные (α - угол разориентировки субзерен)

Тема:1

1.3. Кристаллизация металлов

Кристаллизация обусловлена стремлением системы при определенных условиях перейти к энергетически более устойчивому состоянию с меньшей свободной энергией F . На рис. 1.3 показана зависимость изменения свободной энергии для жидкой и твердой фаз от изменения температуры системы. Меньшей свободной энергией вещество в жидком состоянии обладает при температуре выше, а в твердом - ниже *теоритической температуры плавления* (точка T_s). В реальных условиях процесс кристаллизации не может начаться при температуре T_s , так как при данной температуре система находится в состоянии равновесия ($F_{\text{ж}} = F_{\text{т}}$). Для того чтобы процесс кристаллизации начался, жидкость необходимо охладить ниже точки T_s . Температура, при которой реально начинается процесс кристаллизации, называется *фактической температурой кристаллизации* ($T_{\text{кр}}$). Разность между теоретической температурой T_s и реальной температурой $T_{\text{кр}}$, при которой протекает кристаллизация, называется *степенью переохлаждения системы* ΔT . При нагреве переход из твердого в жидкое состояние также начинается при определенной *степени перегрева системы* ΔT .

Тема:1

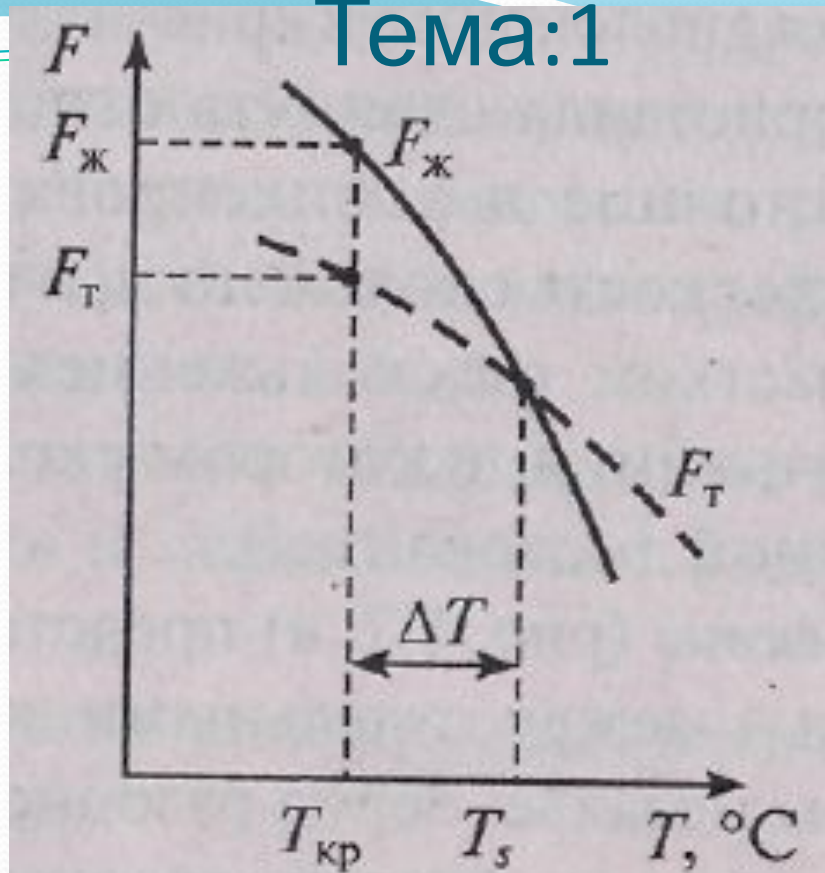


Рис. 1.3. Изменение свободной энергии F металла в жидком ($F_{\text{ж}}$) и твердом ($F_{\text{т}}$) состоянии в зависимости от температуры

Выделяют два вида кристаллизации:

- *первичная* — переход металла из жидкого состояния в твердое с образованием кристаллической структуры;
- *вторичная* — образование новых кристаллов в твердом кристаллическом веществе.

Тема:1

1.4. Полиморфизм металлов

Существование разных типов кристаллических решеток у одного и того же вещества при различных температуре и давлении называется *полиморфизмом*, или *аллотропией*, а процесс перехода из одной кристаллической формы в другую - полиморфным, или аллотропическим, превращением. Ряд элементов - Co, Ti, Mn, Sn, Ca, Li, Fe и др. имеют два и более типа (модификации) кристаллических решеток, обозначаемых малыми буквами греческого алфавита (α , β , γ и т. д.), начиная с той формы, которая существует при наиболее низкой температуре.

При температурах ниже $911\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше $1392\text{ }^{\circ}\text{C}$ железо имеет объемно-центрированную кубическую решетку и обозначается Fe_{α} . При температурах $911\text{...}1392\text{ }^{\circ}\text{C}$ оно имеет гранецентрированную кубическую решетку и обозначается Fe_{γ} . Высокотемпературную модификацию Fe_{α} иногда обозначают Fe_{δ} .

При температуре $768\text{ }^{\circ}\text{C}$ (точка Кюри) происходит изменение магнитных свойств железа: ниже $768\text{ }^{\circ}\text{C}$ оно магнитно, выше - немагнитно (немагнитное α -железо иногда называют β -железом).

Тема:1

1.5. Основные сведения о металлических сплавах

В жидком состоянии компоненты сплава в большинстве случаев полностью растворимы друг в друге и представляют собой *жидкий раствор*, в котором атомы различных элементов равномерно перемешаны друг с другом. При кристаллизации компоненты сплава вступают во взаимодействие, от характера которого зависит их строение. Наиболее часто встречаются твердые растворы, химические соединения и механические смеси.

При изучении явлений, протекающих в металлах и сплавах в процессе их превращений, пользуются понятиями «система», «фаза», «компонент».

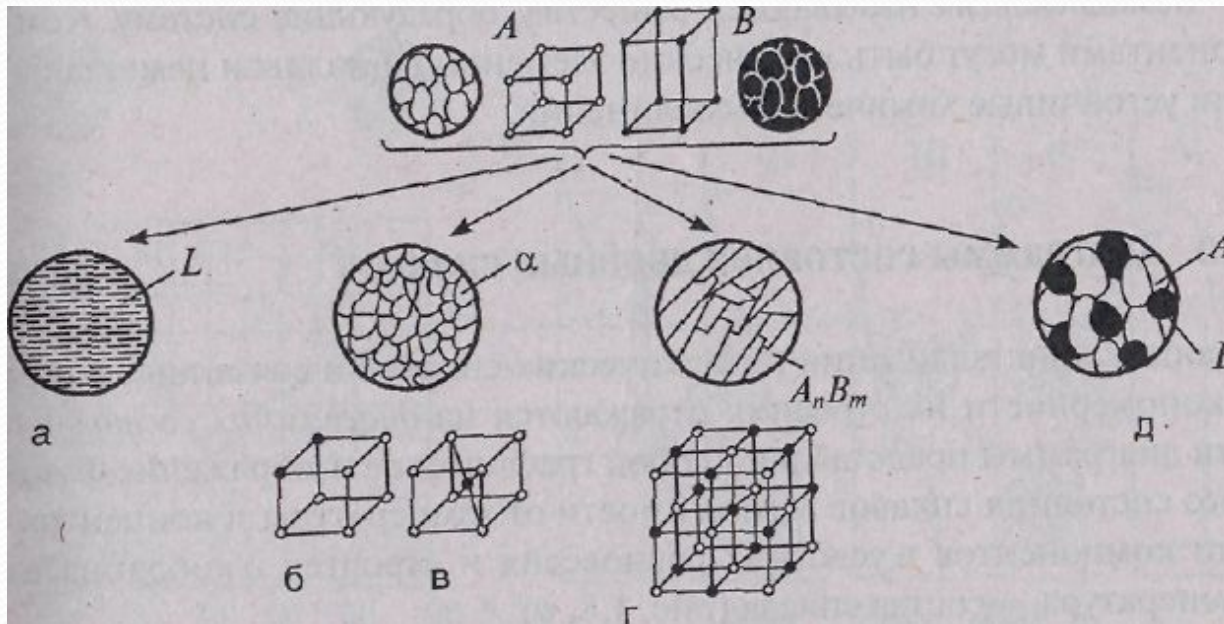


Рис. 1.4. Фазы в металлических сплавах:

a - жидкий раствор *L*; *б* - твердый раствор α -замещения; *в* - твердый раствор α -внедрения; *г* - химическое соединение $A_n B_m$; *д* - механическая смесь *A* и *B*

Тема:1

1.6. Диаграммы состояния двойных сплавов

Процесс кристаллизации металлических сплавов и связанные с ним закономерности их строения отражаются на *диаграммах состояния*. Эти диаграммы представляют собой графическое изображение фазового состояния сплавов в зависимости от температуры и концентрации компонентов в условиях равновесия и строятся в координатах температура - состав сплава (рис. 1.5. а)

Общие закономерности сосуществования устойчивых фаз, отвечающих теоретическим условиям равновесия, могут быть выражены в математической форме, называемой правилом фаз, или законом Гиббса:

$$C = k - f + 2,$$

где C - число степеней свободы системы; k - число компонентов в системе; f - число фаз в системе.

Под *числом степеней свободы системы* понимают число внешних и внутренних факторов (температура, давление, концентрация), которые можно изменять без изменения числа фаз в системе.

Если принять, что все превращения в металле происходят при постоянном давлении, то число переменных уменьшится на единицу (давление постоянно), и уравнение правила фаз примет следующий вид:

$$C = k - f + 1.$$

Тема:1

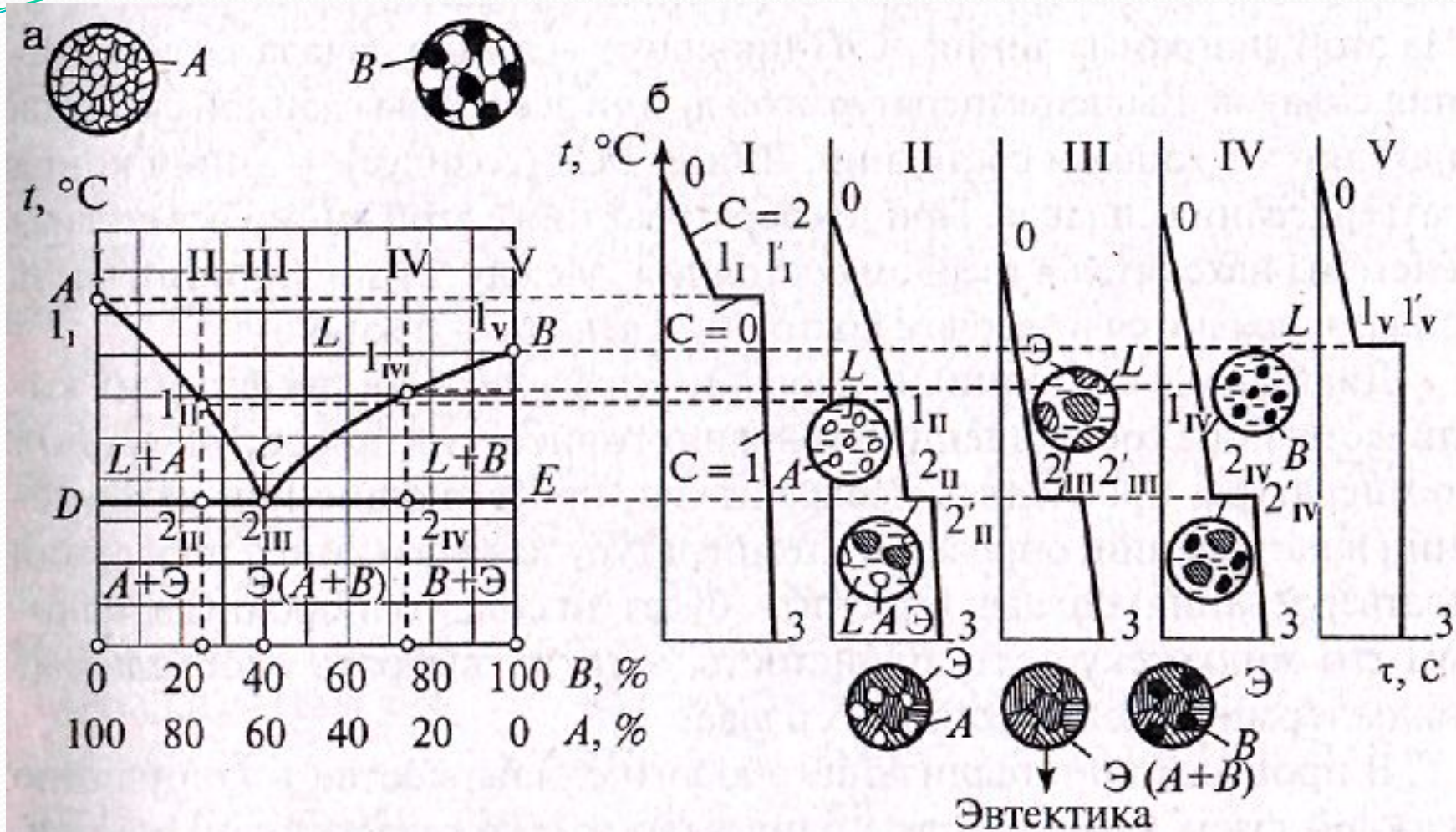


Рис. 1.5. Диаграмма состояния I рода (а), кривые охлаждения сплавов I...V и схемы их структур (б):
 ACB - ликвидус; DCE - солидус

1.6.1. Диаграмма состояния для сплавов, компоненты которых нерастворимы в твердом состоянии (I рода)

Компоненты сплава A и B данной системы неограниченно растворимы в жидком состоянии (L) и нерастворимы в твердом, образуя механические смеси из чистых компонентов (пример такой диаграммы приведен на рис. 1.5, a). При охлаждении сплавов на ветви ликвидуса AC начинают выделяться кристаллы вещества A , а на ветви CB - кристаллы B . На линии DCE из жидкости состава, соответствующего проекции точки C на ось концентрации, одновременно выделяются кристаллы A и B в виде механической смеси.

На рис. 1.5, b приведены кривые охлаждения трех сплавов. Для сплавов II, IV на участке $0 - 1$ идет охлаждение жидкого сплава, на участке $1 - 2$ в сплаве II из жидкости выделяются кристаллы компонента A , а в сплаве IV - кристаллы компонента B . На участке $2 - 2'$ у обоих сплавов совместно выделяются кристаллы A и B , а на участке $2' - 3$ происходит охлаждение твердого вещества.

В сплаве III на участке $0 - 2$ происходит охлаждение жидкого сплава, на участке $2 - 2'$ - совместно выделяются кристаллы A и B , на участке $2' - 3$ происходит охлаждение твердой фазы.

Тема:1

1.6.2. Диаграмма состояния для сплавов, компоненты которых неограниченно растворимы в твердом состоянии (II рода)

Оба компонента сплава (A и B) неограниченно растворимы в жидком (L) и твердом состоянии и не образуют химических соединений. Диаграмма имеет простой вид, где линия AmB - ликвидус, AnB - солидус.

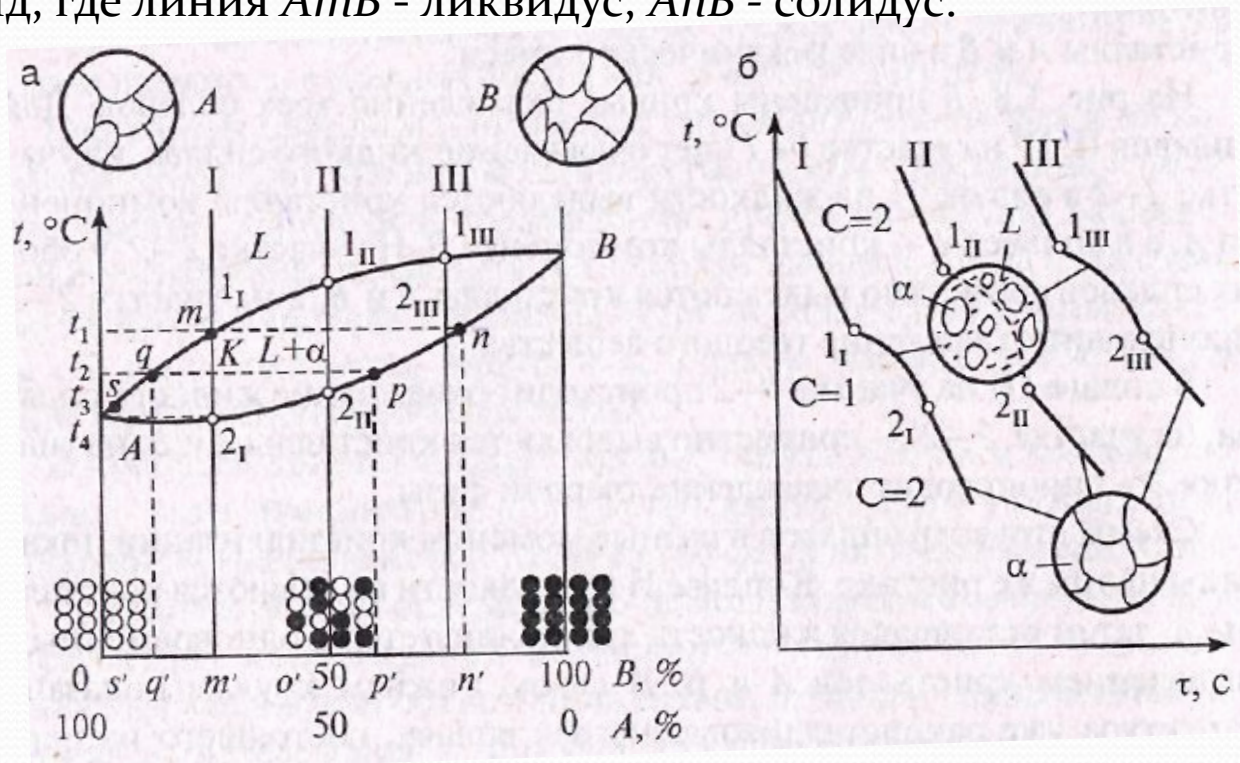


Рис. 1.6. Диаграмма состояния II рода (а), кривые охлаждения сплавов I, II, III и схемы их структур (б)

Тема:1

1.6.3. Диаграмма состояния для сплавов, компоненты которых ограничено растворимы в твердом состоянии (III рода)

Характерной особенностью данной диаграммы является то, что здесь не образуются фазы, представляющие собой чистые компоненты.

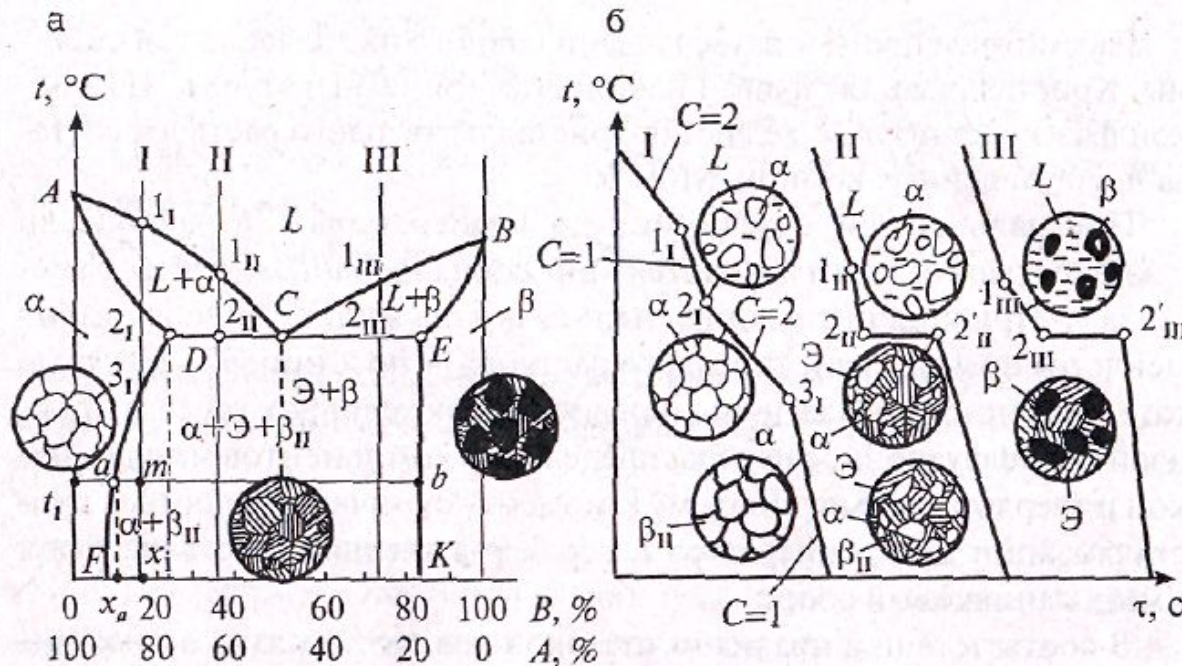


Рис. 1.7. Диаграмма состояния III рода (а), кривые охлаждения сплавов I, II, III и схемы их структур (б)

1.6.4. Диаграмма состояния для сплавов, компоненты которых образуют устойчивое химическое соединение (IV рода)

Оба компонента сплава неограниченно растворимы в жидком состоянии, а в твердом состоянии образуют устойчивое химическое соединение. Общий вид данной диаграммы состояния показан на рис. 1.8, *a*. Химическое соединение A_nB_m характеризуется определенным соотношением компонентов, которое отражается на диаграмме вертикальной линией, проходящей через точку оси абсцисс, отвечающую соотношению компонентов в химическом соединении. Это означает, что в данном соединении на n атомов компонента A приходится m атомов компонента B .

Легко заметить, что диаграмма как бы составлена из двух диаграмм I рода. Левая часть образована компонентом A и химическим соединением A_nB_m , а правая - компонентом B и соединением A_nB_m . Точка C на диаграмме соответствует концентрации компонентов в химическом соединении. В сплавах, лежащих левее точки C , компонента A больше, чем в химическом соединении A_nB_m , и структура этих сплавов состоит из смеси A и A_nB_m .

Тема:1

1.6.5. Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния

Свойства сплавов зависят от их строения, которое определяется характером взаимодействия компонентов. Диаграммы состояния характеризуют взаимодействие компонентов и показывают, какие фазы и структуры образуются в зависимости от состава сплава и температуры.

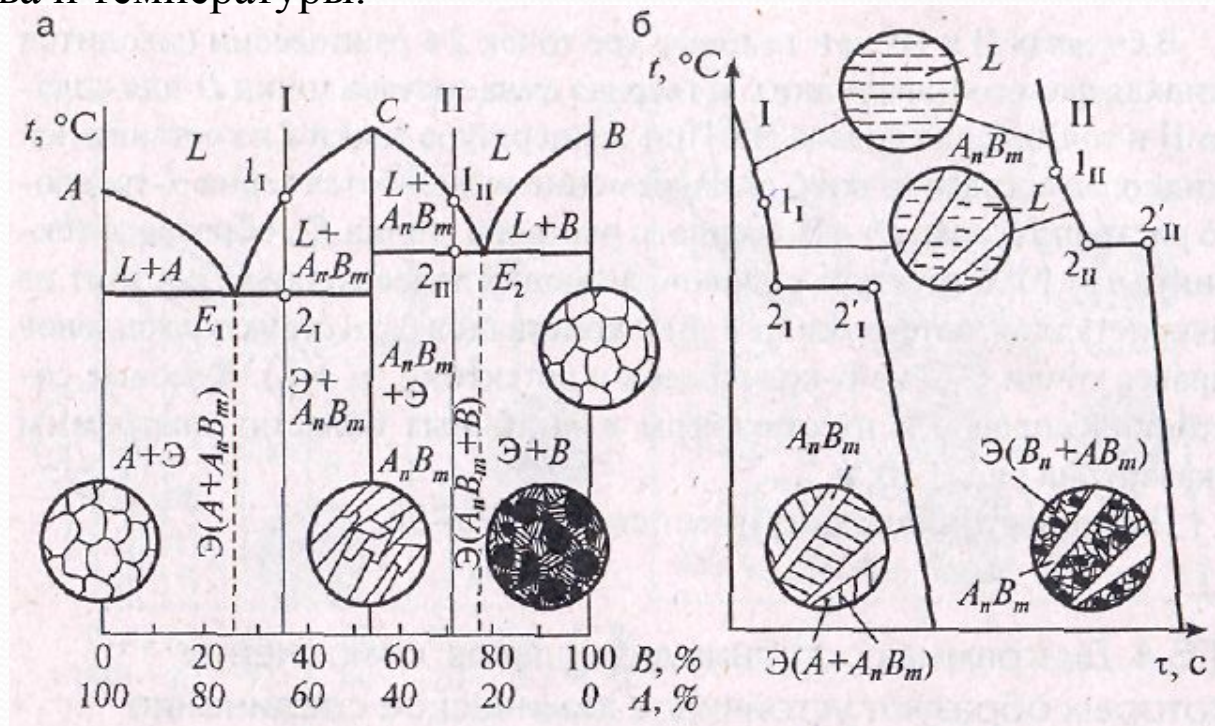
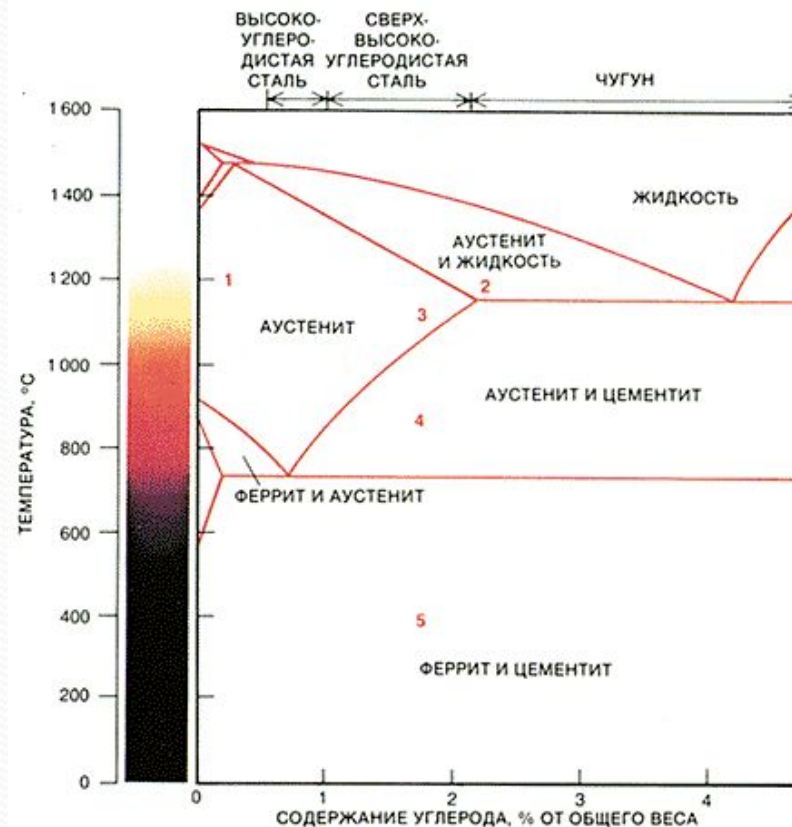


Рис. 1.8. Диаграмма состояния IV рода (а) и кривые охлаждения сплавов I, II и схемы их структур (б)

ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

- 2.1. Структурные составляющие сплавов железа с углеродом
- 2.2. Участок диаграммы состояния Fe - Fe₃C с концентрацией углерода 0 ... 2,14 %
- 2.3. Участок диаграммы состояния Fe - Fe₃C с концентрацией углерода 2,14 ... 6,67 %



2.1. Структурные составляющие сплавов железа с углеродом

В технике наиболее широко применяют сплавы железа с углеродом - стали и чугуны. Поэтому диаграмма состояния железо - углерод имеет самое важное значение среди диаграмм состояния металлических сплавов. Имеются две диаграммы состояния железобуглеродистых сплавов: *метастабильная*, характеризующая превращения в системе железо - цементит (карбид железа), и *стабильная*, характеризующая превращения в системе железо - графит.

- Твердый раствор внедрения углерода в Fe_{α} называется ферритом (Ф).
- Твердый раствор внедрения углерода в Fe_{γ} называется аустенитом (А).
- Химическое соединение железа с углеродом (карбид железа Fe_3C) называется цементитом (Ц).
- Эвтектоидная смесь феррита и цементита называется перлитом (П).
- Механическая смесь аустенита и цементита при температуре выше $727^{\circ}C$ и перлита и цементита при температуре ниже $727^{\circ}C$ называется ледебуритом (Л).

Сплавы железа с углеродом, содержащие 0...0,02 % углерода, называются техническим железом, 0,02 ... 2,14 % - сталями, 2,14 ... 6,67 % углерода - чугунами.

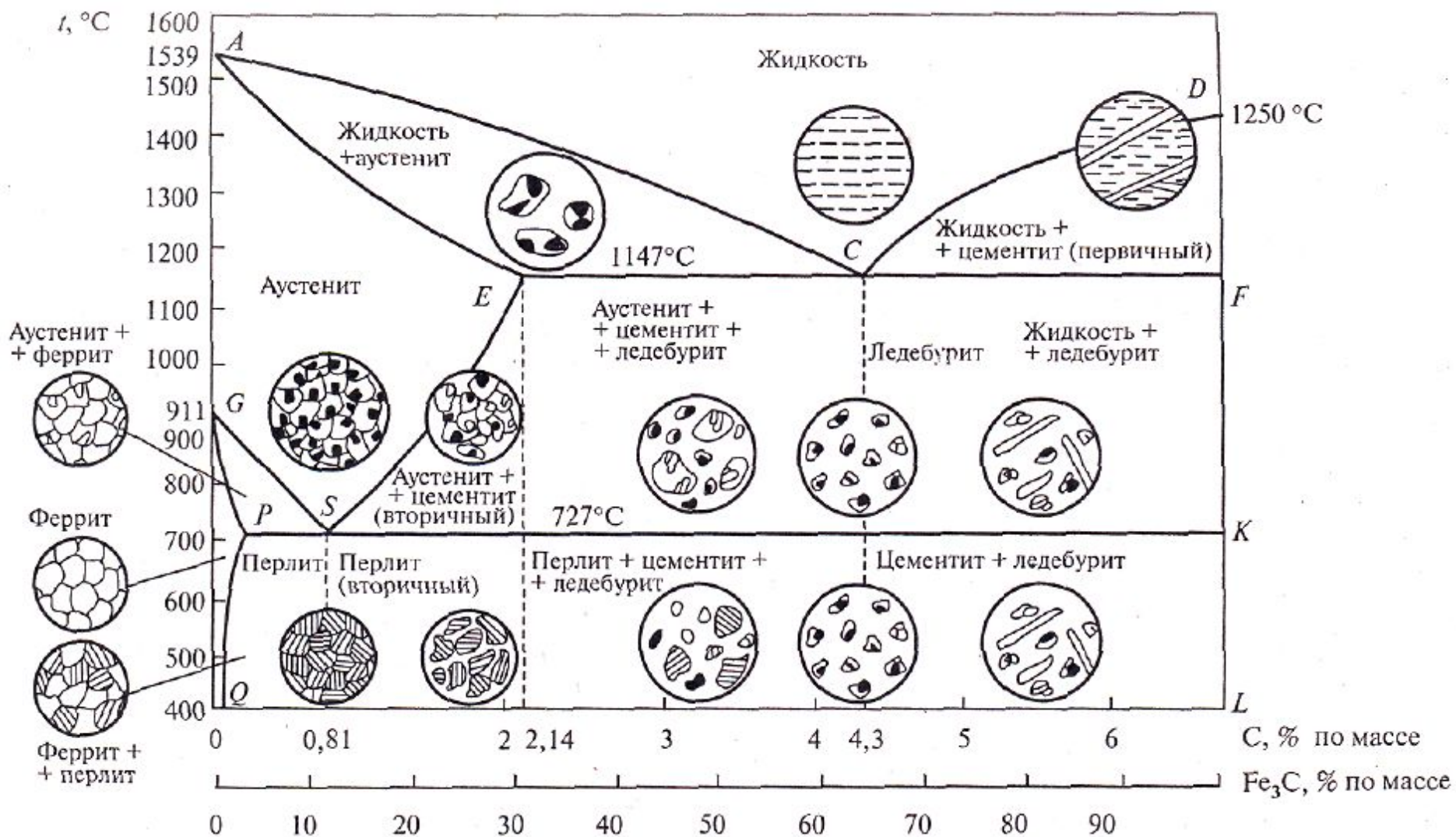


Рис. 1.9. Диаграмма состояния Fe - Fe₃C

2.2. Участок диаграммы состояния Fe - Fe₃C с концентрацией углерода 0 ... 2,14 %

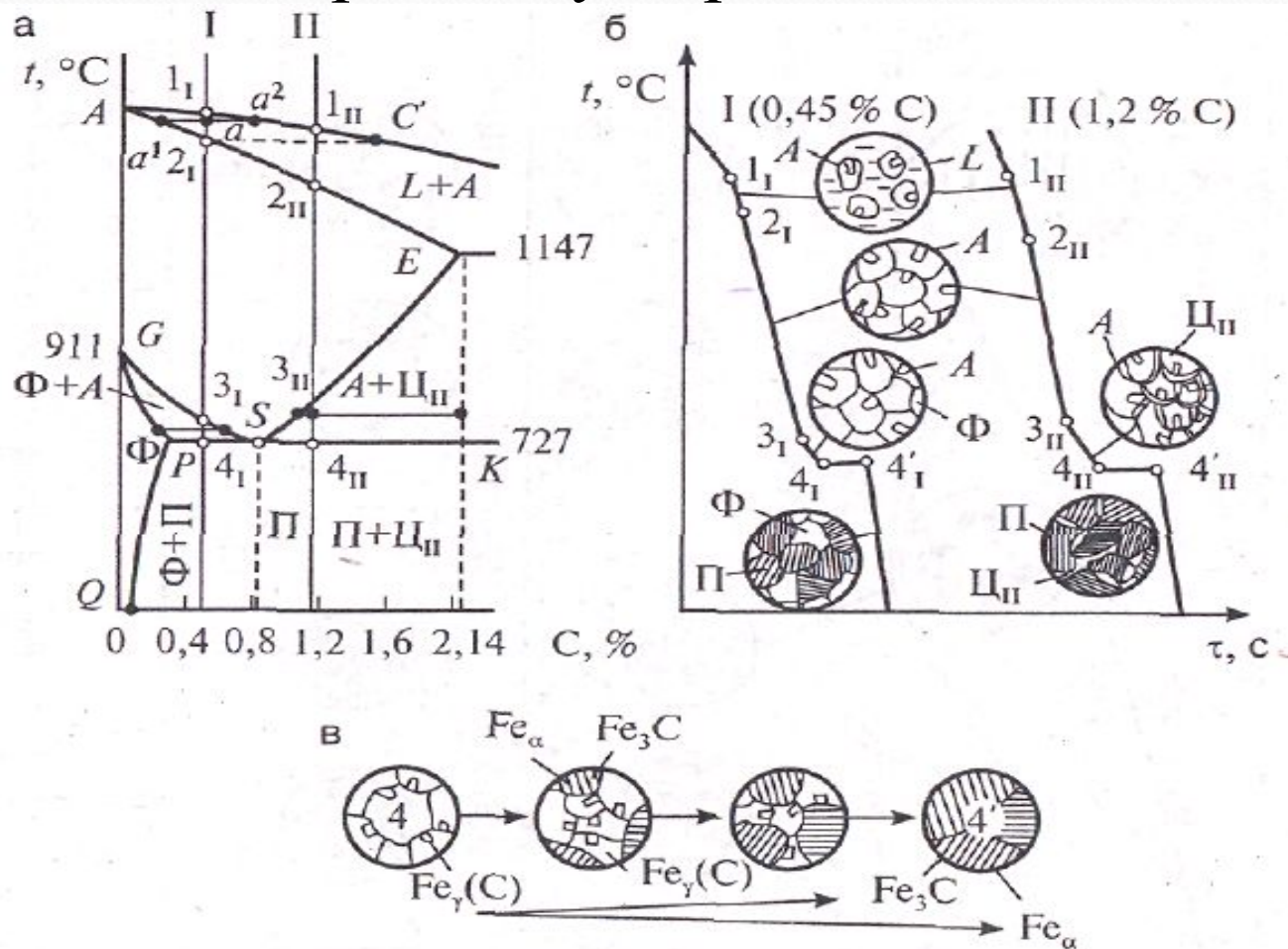


Рис. 2. Часть диаграммы состояния Fe - Fe₃C для сталей (а), кривые охлаждения и структуры сплавов (б) и структурообразование в сплаве с содержанием углерода 0,8 % при температуре точки 4 (в)

2.3. Участок диаграммы состояния Fe - Fe₃C с концентрацией углерода 2,14 ... 6,67 %

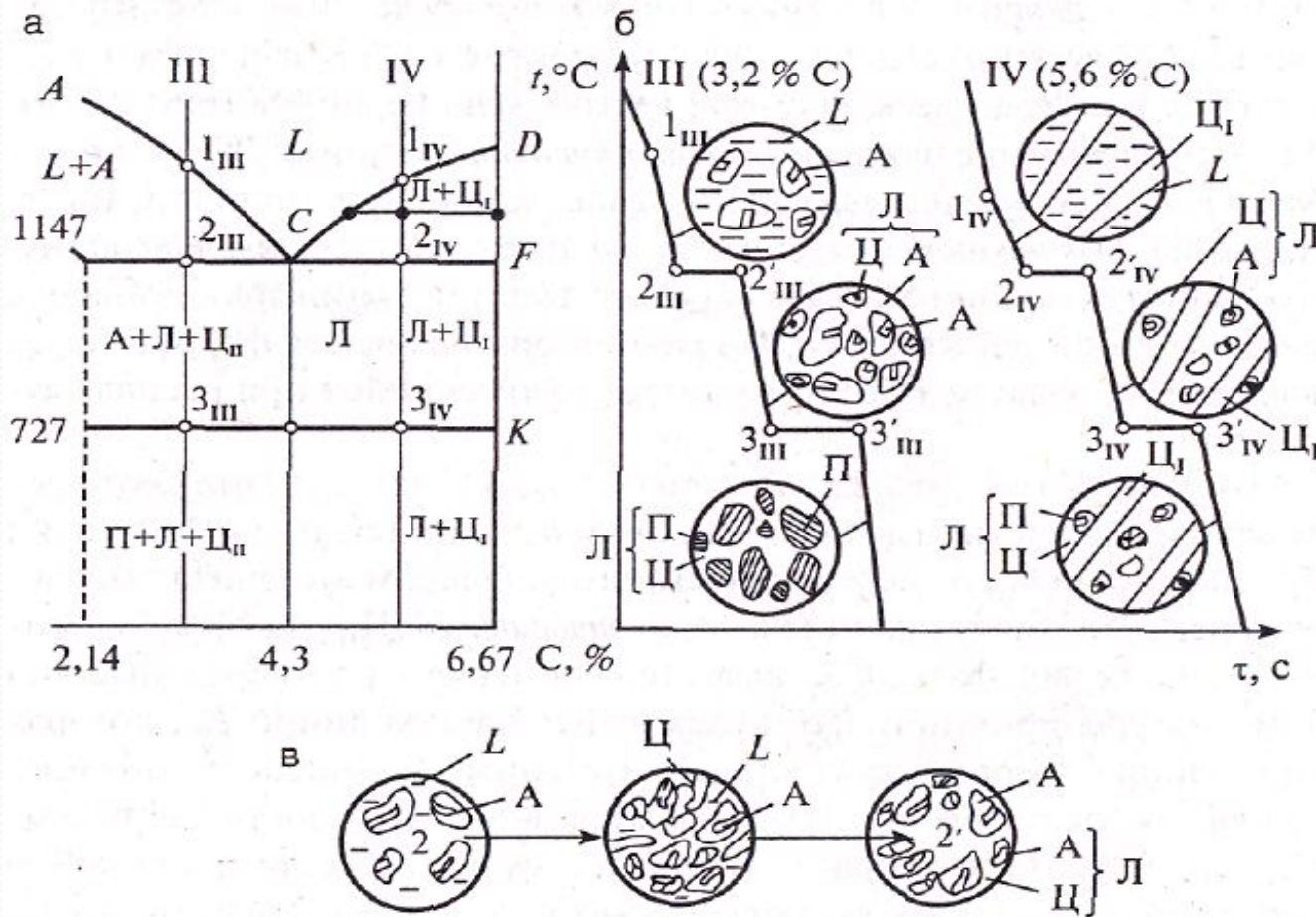


Рис. 2.1. Часть диаграммы состояния Fe - Fe₃C для белых чугунов (а), структурообразование типовых сплавов, кривые охлаждения и структуры белых чугунов (б) и структурообразование сплава с содержанием углерода 3 % при температуре точки 2 (в)

Тема:3

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

3.1. Основы термической обработки стали

3.1.1. Превращение перлита в аустенит и рост зерна аустенита при нагреве

3.1.2. Превращения аустенита при охлаждении

3.1.3. Мартенситное превращение

3.1.4. Превращения мартенсита при нагреве

3.2. Основные виды термической обработки стали

3.2.1. Отжиг сталей

3.2.2. Закалка сталей

3.2.3. Закаливаемость и прокаливаемость стали

3.2.4. Поверхностная закалка

3.2.5. Отпуск сталей

3.3. Термомеханическая обработка стали

3.4. Термическая обработка чугуна

3.5. Дефекты термической обработки стали



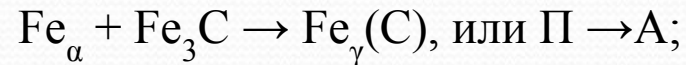
3.1. Основы термической обработки стали

Термическая обработка заключается в нагреве изделий и заготовок до определенной температуры, выдержке при этой температуре и последующем охлаждении с заданной скоростью с целью изменения структуры и свойств стали. Основные виды термической обработки: отжиг, закалка, отпуск и старение.

Термическая обработка влияет на: прочностные и эксплуатационные характеристики многих машиностроительных материалов.

При термической обработке стали происходят четыре основных превращения:

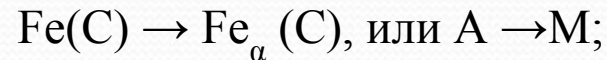
1) перлита в аустенит выше точки A_1 :



2) аустенита в перлит ниже точки A_1 :



3) аустенита в мартенсит при температурах ниже температуры метастабильного равновесия этих фаз:



4) мартенсита в перлит:



3.1.1. Превращение перлита в аустенит и рост зерна аустенита при нагреве

При нагреве сталей выше A_{c1} происходит превращение перлита в аустенит. Как правило, кристаллы аустенита (рис. 2.2, б) зарождаются на межфазных поверхностях раздела феррита с цементитом; в аустените растворяется углерод распадающегося цементита.

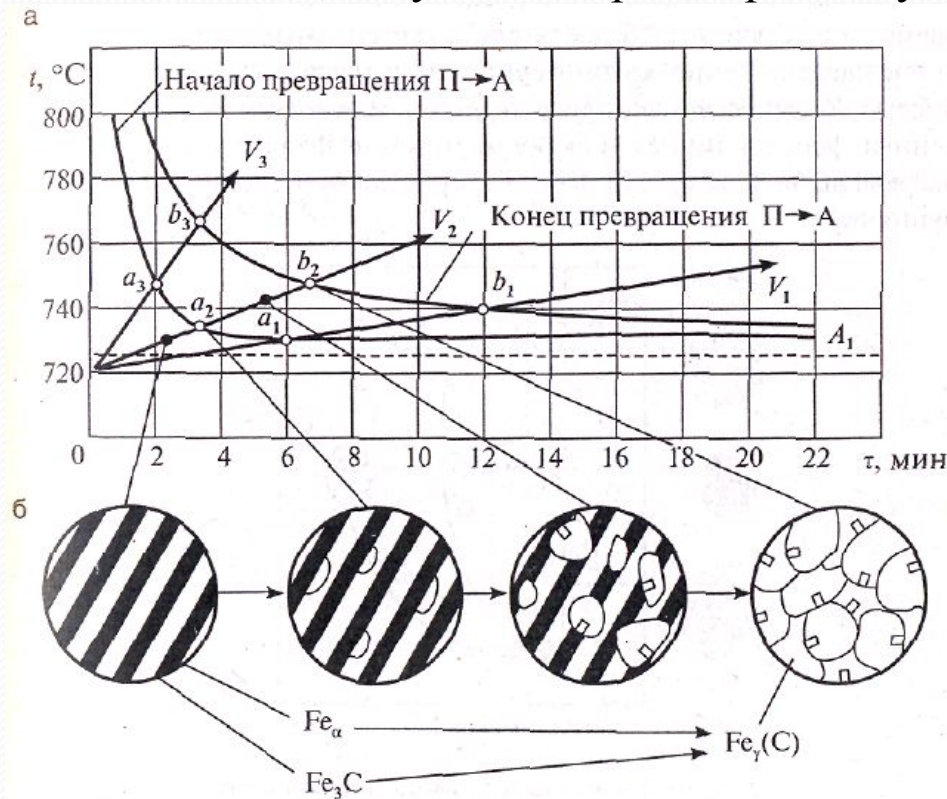


Рис. 2.2. Диаграмма изотермического превращения перлита в аустенит в эвтектоидной стали (а) и схема зарождения и роста кристаллов аустенита (б)

3.1.2. Превращения аустенита при охлаждении

Если сталь со структурой аустенита охладить до температуры ниже A_{r1} , то аустенит претерпит превращение. Скорость превращения и строение продуктов распада аустенита зависят от степени переохлаждения, т. е. от температуры, при которой оно происходит.

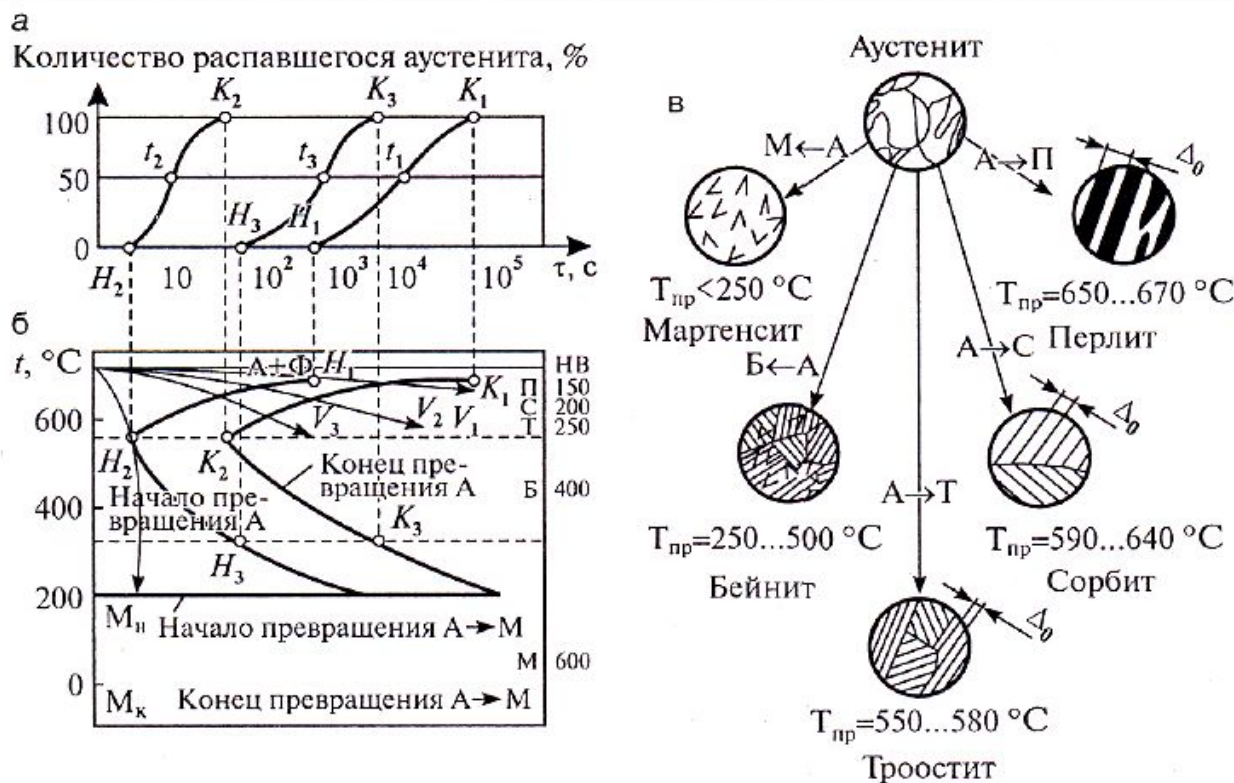


Рис. 2.3. Построение диаграммы изотермического превращения переохлажденного аустенита в эвтектоидной стали:

а - кинетические кривые; *б* - диаграмма изотермического превращения аустенита; *в* - графическое изображение структур

3.1.3. Мартенситное превращение

В доэвтектоидных сталях при температуре ниже A_{r3} превращение аустенита начинается с выделения феррита, а в заэвтектоидных - вторичного цементита. Начало выделения избыточного феррита (вторичного цементита) на диаграмме характеризуется добавочной штриховой линией.

Мартенситное превращение - это превращение переохлажденного аустенита, происходящее при его охлаждении в интервале температур от M_H до M_K (рис. 2.4, б), где M_H - температура начала и M_K - температура конца мартенситного превращения.

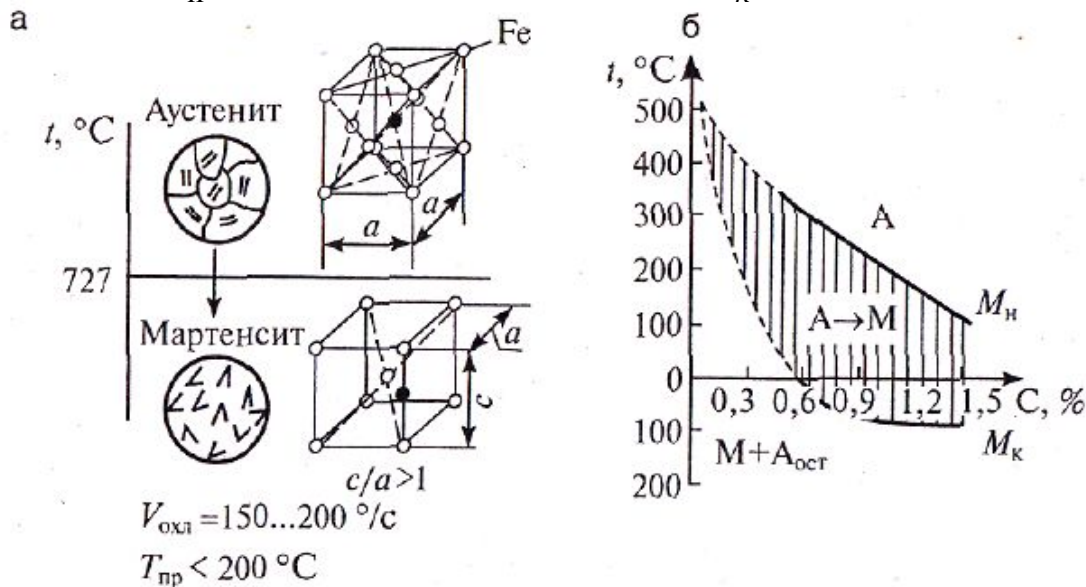


Рис. 2.4. Мартенситное превращение:
 а - механизм превращения и строение Кристаллической решетки;
 б - влияние содержания углерода на положение мартенситных точек;
 в - микроструктура крупноигольчатого мартенсита и остаточного аустенита в стали с 1,6 % С (вверху) и мелко игольчатого мартенсита в стали с 0,5 % С (внизу)



3.1.4. Превращения мартенсита при нагреве

Мартенсит и остаточный аустенит являются неравновесными фазами, которые при нагреве могут переходить в более устойчивое состояние и распадаться с образованием структур, состоящих из феррита и цементита. Распад этих фаз идет по диффузионному механизму, скорость которого зависит от температуры нагрева. При нагреве мартенсит начинает распадаться в первую очередь.

Для изучения структурных превращений при нагреве закаленной стали пользуются dilatометрическим анализом, суть которого заключается в точной фиксации изменений длины закаленных образцов. В соответствии с характером изменения длины закаленных образцов в углеродистой стали различают четыре стадии превращения при нагреве.

3.2. Основные виды термической обработки стали

Термическая обработка позволяет значительно изменить многие свойства металлов, особенно механические.

В машиностроении термической обработке подвергается более половины объема выпускаемой номенклатуры деталей - от деталей приборов, разнообразных деталей машин до крупных элементов металлургического и энергетического оборудования.

Основными факторами воздействия при термической обработке являются температура и время. Изменяя температуру и скорость нагрева или охлаждения, можно целенаправленно изменять структуру и свойства стали в зависимости от требований, предъявляемых к изделиям. Выбор вида термической обработки определяется характером требуемых структурных изменений в металле. К основным видам термической обработки относятся отжиг, закалка и отпуск.

Тема:3

3.2.1. Отжиг сталей

Отжиг является весьма распространенной операцией термической обработки сталей и чугунов. В зависимости от назначения отжига режимы его могут быть различными. При отжиге сталь нагревают ниже или выше температур критических точек, выдерживают при этой температуре и затем медленно охлаждают (обычно вместе с печью). В результате получается стабильная структура. Отжиг применяют для устранения неоднородности микроструктуры литых деталей, для снятия наклепа в материале после прокатки,ковки и других видов обработки, а также для подготовки детали к последующей технологической операции (резанию, закалке и т. д.).

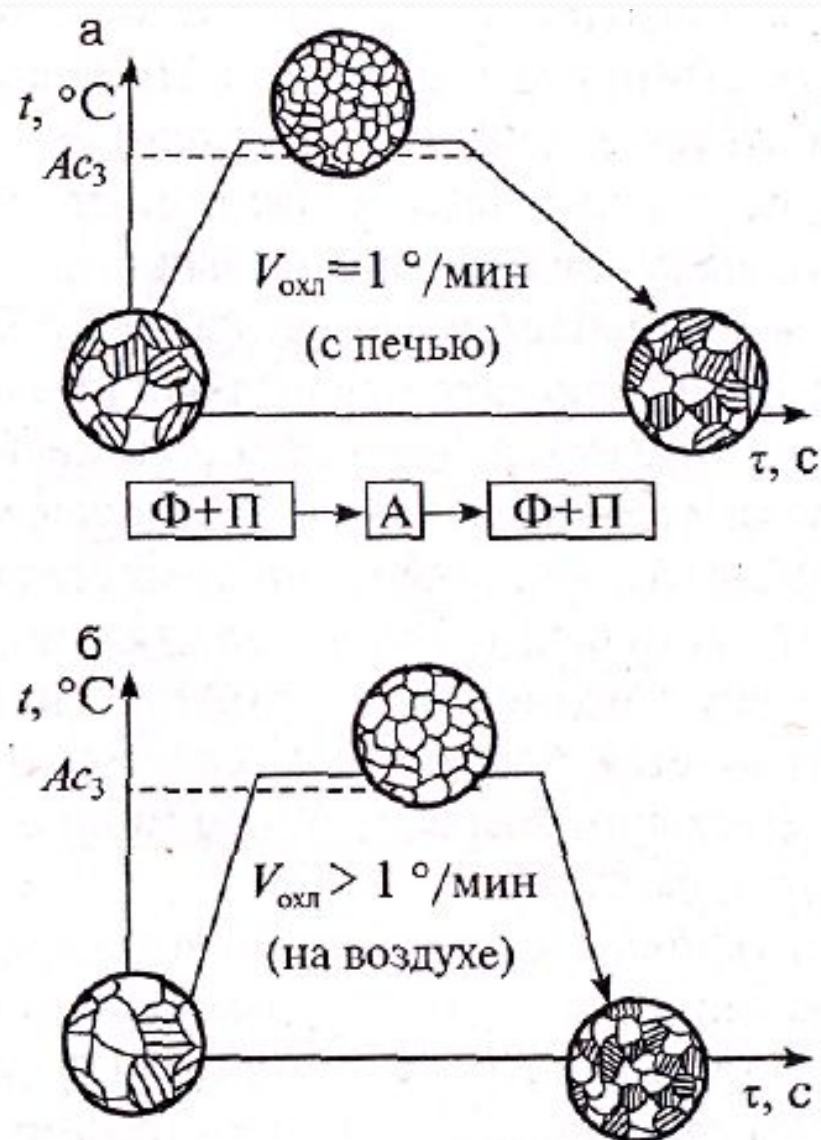


Рис. 2.5. Режим отжига стали:
а - полный; б - нормализационный

Тема:3

3.2.2. Закалка сталей

Закалка является основным видом упрочняющей термической обработки сталей и чугунов. При закалке детали нагревают выше критических температур, а затем охлаждают со скоростью, превышающей критическую. Под критической скоростью закалки понимают минимальную скорость охлаждения, обеспечивающую бездиффузионное превращение аустенита в мартенсит. Это позволяет получить неравновесную структуру с высокой твердостью, износостойкостью и прочностью. После закалки стали обычно следует отпуск, позволяющий снять термические напряжения и оптимизировать ее свойства.

При закалке различают три периода охлаждения:

- 1) пленочное охлаждение - на поверхности детали образуется паровая рубашка, отделяющая поверхность от всей массы жидкости и обуславливающая сравнительно небольшие скорости охлаждения;
- 2) пузырьковое кипение - наступает при низких температурах охлаждаемой поверхности, когда паровая пленка разрушается; в результате этого происходит быстрый отвод теплоты, так как на образование пузырьков пара расходуется большое ее количество;
- 3) конвективный теплообмен — наблюдается при понижении температуры поверхности ниже температуры кипения жидкости; отвод теплоты в этот период происходит с наименьшей скоростью.

Тема:3

3.2.3. Закаливаемость и прокаливаемость стали

Важными характеристиками стали, необходимыми для назначения технологических режимов закалки, являются закаливаемость и прокаливаемость.

Под закаливаемостью понимают способность стали получать максимальную твердость при закалке. Главным фактором, определяющим закаливаемость, является содержание углерода в стали. Закаливаемость оценивают по твердости поверхностного слоя стального образца после закалки, поскольку на поверхности скорость охлаждения максимальна.

Под прокаливаемостью понимают глубину закаленного слоя с мартенситной или трооститно-мартенситной структурой. Оценивается прокаливаемость расстоянием от поверхности изделия до слоя, в котором содержится не менее 50 % мартенсита.

Тема:3

3.2.4. Поверхностная закалка

Поверхностной закалкой называют процесс термической обработки, заключающийся в нагреве поверхностного слоя изделия до температуры выше A_{c_3} для доэвтектоидных и A_{c_1} , для заэвтектоидных сталей с последующим охлаждением с целью получения структуры мартенсита в поверхностном слое.

Наиболее распространены следующие методы поверхностной закалки: с индукционным нагревателем (нагрев токами высокой частоты - ТВЧ), газоплазменная поверхностная и в электролите. Все способы поверхностной закалки основаны на быстром нагреве поверхностного слоя выше точек фазовых превращений и последующем охлаждении, приводящем к тому, что слой I, нагретый выше температуры A_{c_3} закалится полностью, слой II - частично, а слой III останется незакаленным. В результате обеспечивается высокая прочность и износостойкость поверхностных слоев в сочетании с пластичностью и вязкостью сердцевины изделия.

3.2.5. Отпуск сталей

Отпуском называют финишную термическую обработку, заключающуюся в нагреве закаленной стали до температур ниже A_{c1} , выдержке при заданной температуре и последующем охлаждении с определенной скоростью (рис. 2.6, а). Отпуск проводят для снижения или полного устранения внутренних напряжений, уменьшения хрупкости закаленной стали и получения требуемой структуры и механических свойств. В зависимости от температуры отпуск делят на низкий, средний и высокий.

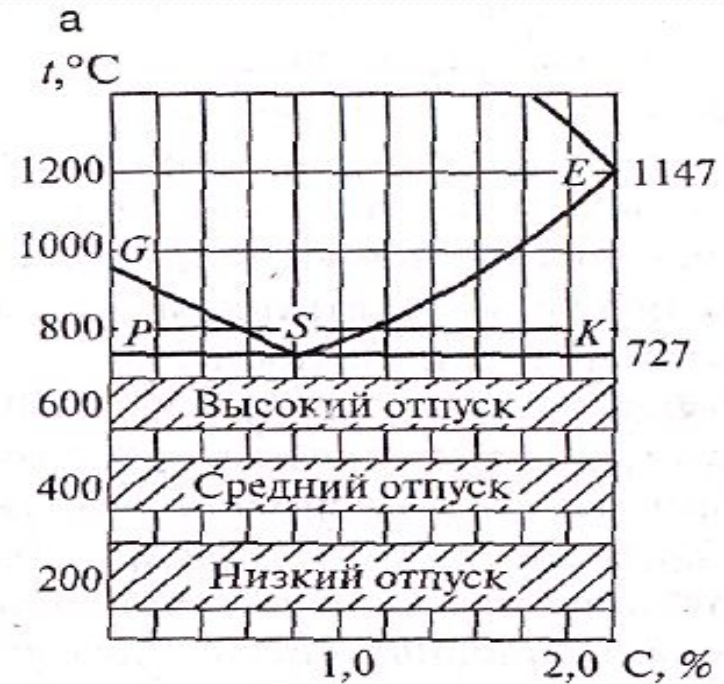


Рис. 2.6. Температурные области нагрева под отпуск (а), структуры закалки и продуктов ее распада: б - мартенсит закалки; в - мартенсит отпуска; г - троостит отпуска; д - сорбит отпуска

3.3. Термомеханическая обработка стали

Термомеханическая обработка (ТМО) стали заключается в сочетании пластической деформации стали в аустенитном состоянии с последующей закалкой. В зависимости от температуры, при которой деформируют сталь, различают высокотемпературную (ВТМО) и низкотемпературную (НТМО) термомеханическую обработку.

При ВТМО сталь нагревают до температуры выше A_{c3} , пластически деформируют при этой температуре и закаливают. Степень деформации составляет 20 ... 30 %. Закалка следует немедленно после деформации во избежание развития рекристаллизации.

3.4. Термическая обработка чугуна

В чугунах, как и в сталях, в твердом состоянии происходят фазовые превращения, поэтому для них могут быть использованы те же виды термической обработки, что и для стали. Чугунные отливки подвергаются отжигу, нормализации, закалке с отпуском.

Отжиг для снятия внутренних напряжений отливок из серого и высокопрочного чугунов проводят при температуре 500 ... 550 °С в течение 3 ... 5 ч с последующим медленным охлаждением со скоростью 30 ... 60 °С/ч до 200 °С вместе с печью, а затем на воздухе. При таком отжиге не только уменьшаются внутренние напряжения в отливках, но и достигается стабильность размеров и уменьшается вероятность образования трещин при механической обработке и в процессе эксплуатации.

После закалки проводят отпуск, температура которого зависит от требуемой твердости. Для деталей, работающих на износ, температура отпуска составляет 250 ... 350 °С. Однако рациональнее чугунные отливки подвергать поверхностной закалке, так как в этом случае не наблюдается коробление и трещинообразование в деталях.

3.5. Дефекты термической обработки стали

При термической обработке стали могут возникнуть следующие дефекты: недостаточная твердость, мягкие пятна, повышенная хрупкость, обезуглероживание и окисление поверхности, коробление, деформации и трещины. Причиной их возникновения является нарушение технологических режимов термической обработки.

При нагреве доэвтектоидной стали ниже температуры A_{c3} фазовые превращения происходят не полностью и в структуре стали присутствует феррит, который в ходе закалки не претерпевает изменения, вызывая понижение твердости.

Перегрев стали приводит к росту зерна, образованию структуры крупнозольчатого мартенсита и, как следствие, к повышенной хрупкости стали.

Обезуглероживание и окисление поверхности происходят при нагреве сталей в печах без контролируемой атмосферы. Обезуглероживание характеризуется выгоранием углерода в поверхностных слоях детали и резко снижает твердость ее поверхности. При окислении на поверхности детали образуется окалина, которая приводит к неравномерной твердости, в результате чего возникает необходимость дополнительной обработки. Для предохранения от окисления и обезуглероживания детали необходимо нагревать в печах с контролируемой защитной или нейтральной атмосферой.

Деформации, коробление и трещины образуются при слишком резком или неравномерном охлаждении или нагреве деталей. Для предотвращения указанных дефектов необходимо правильно назначать режимы термической обработки.

ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

- 4.1. Основы химико-термической обработки сталей
- 4.2. Цементация
- 4.3. Азотирование
- 4.4. Цианирование
- 4.5. Диффузионная металлизация



4.1. Основы химико-термической обработки сталей

Химико-термической обработкой называют технологический процесс заключающийся в диффузионном насыщении поверхностного слоя деталей различными элементами с целью изменения его состава структуры и свойств.

В зависимости от того, какими элементами насыщают поверхностный слой стального изделия, различают:

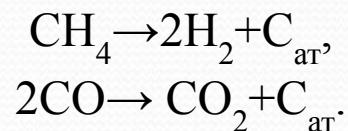
- цементацию - насыщение углеродом;
- азотирование - азотом;
- нитроцементацию - углеродом и азотом;
- хромирование - хромом;
- силицирование - кремнием.

Химико-термическую обработку применяют для повышения твердости, износостойкости, сопротивления усталости и контактной выносливости, а также для защиты от электрохимической и газовой коррозии.

4.2. Цементация

Цементацией называется технологический процесс диффузионного насыщения поверхности стальных изделий углеродом. Цементация применяется для деталей, работающих в условиях трения и высоких контактных давлений (например, зубчатые колеса, валы, пальцы, распределительные валики, кулачки, червяки и т. д.). Обработке подвергаются детали с припуском на шлифование из низкоуглеродистых сталей, содержащих 0,1 ... 0,25 % углерода, и низколегированных сталей типа 20Х, 15ХР, 20ХН, 18ХГТ, 12ХНЗ, 18Х2Н4 и др. Глубина цементованного слоя колеблется от 0,5 до 4 мм. После цементации изделия подвергаются закалке и низкому отпуску. В результате такой обработки твердость поверхностного слоя достигает 58 ... 62 НРС₉ при сохранении вязкой сердцевины детали. В основном применяют два вида цементации: твердую и газовую.

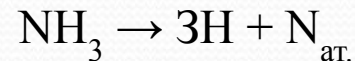
Газовая цементация наиболее широко применяется в массовом производстве. Основной реакцией, обеспечивающей выделение свободного атомарного углерода, является диссоциация метана и оксида углерода по реакции:



4.3. Азотирование

Азотированием называется технологический процесс диффузионного насыщения поверхности стальных изделий азотом, в результате которого повышается твердость, износостойкость и предел выносливости ответственных деталей машин (например, коленчатых валов, гильз цилиндров, червяков, валов и др.). Азотированию подвергают детали из среднеуглеродистых сталей, которые прошли чистовую обработку, закалку и высокий отпуск. После азотирования детали шлифуют или полируют.

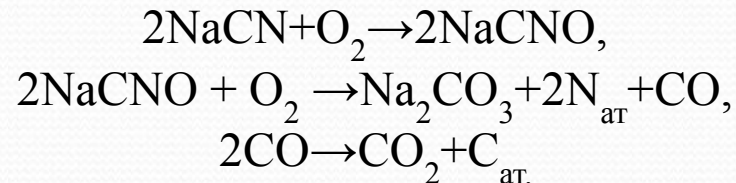
Детали, подвергаемые азотированию, укладываются в герметичные камеры, куда с определенной скоростью подается аммиак, который при нагреве разлагается с образованием атомарного азота:



Температура азотирования составляет 500 ... 600 °С. Длительность процесса зависит от необходимой толщины азотированного слоя.

4.4. Цианирование

Цианирование сталей заключается в поверхностном насыщении стальных изделий одновременно углеродом и азотом из расплавленных цианистых солей NaCN с добавками солей NaCl, BaCl и др. При нагреве в ванне, содержащей указанные соли, происходят следующие реакции:



Образующиеся атомарный азот и углерод диффундируют в сталь. Детали нагревают в расплавленных солях до температуры 820...860 °С и выдерживают 0,5...1,5 ч. При этом толщина диффузионного слоя достигает 0,16...0,35 мм и в нем содержится примерно 0,7 % углерода и 0,1 % азота.

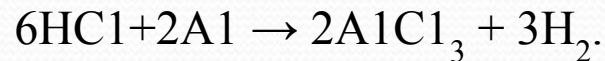
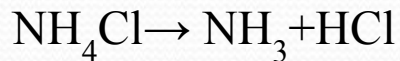
После цианирования детали закаливают непосредственно из цианистой ванны и подвергают низкому отпуску при 180 ... 200 °С. Твердость цианированного слоя после термической обработки 58 ... 62 HRC₃. Цианированный слой по сравнению с цементованным обладает более высокой износостойкостью. Его структура состоит из тонкого поверхностного слоя карбонитридов Fe₂(C, N), Fe₃(C, N), после чего следует слой азотистого мартенсита.

4.5. Диффузионная металлизация

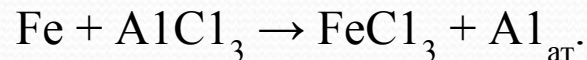
Диффузионное насыщение поверхностного слоя стальных изделий металлами - диффузионная металлизация - производится с целью упрочнения и придания особых физико-химических свойств поверхностному слою детали. Диффузионная металлизация может проводиться из расплава диффундирующего металла или его солей, из газовой и твердой фаз. Наибольшее распространение получили методы алитирования, хромирования и силицирования.

Алитирование, или диффузионное насыщение алюминием, проводится для повышения жаростойкости и коррозионной стойкости деталей из углеродистых сталей, используемых преимущественно в теплоэнергетическом машиностроении.

Насыщаемые детали вместе с порошком из ферроалюминия, оксида алюминия Al_2O_3 и хлористого аммония NH_4Cl упаковывают в металлические контейнеры с плавкими затворами и нагревают до $950 \dots 1000 \text{ }^\circ\text{C}$. Во время нагрева в алитирующей смеси протекают следующие реакции:



Пары хлористого алюминия реагируют с железом на поверхности изделия по реакции:



Тема:5

УГЛЕРОДИСТЫЕ И ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ

- 5.1. Влияние примесей на свойства сталей
- 5.2. Классификация сталей
- 5.3. Углеродистые стали
- 5.4. Легированные стали
 - 5.4.1. Конструкционные стали
 - 5.4.2. Инструментальные стали
 - 5.4.3. Стали специального назначения



Тема:5

5.1. Влияние примесей на свойства сталей

Свойства сталей зависят не только от их состава и соотношения компонентов, но и от вида термической и химико-термической обработки, которым они подвергаются.

Сталью называют сплав железа с углеродом (0,02 ... 2,14 %), постоянными примесями которого являются марганец до 0,8 %, кремний до 0,5 %, фосфор до 0,05 %, сера до 0,05 %. Такую сталь называют углеродистой. Если в процессе выплавки добавляют легирующие элементы (Cr, Si, Ni, Mn, V, W, Mo и др.), причем некоторые из них сверх их обычного содержания, то получают легированную сталь.

Углерод оказывает сильное влияние на свойства стали. С увеличением его содержания повышаются твердость и прочность стали, снижаются пластичность и вязкость.

Сера попадает в чугуны, а затем и в сталь. Она не растворима в железе и образует с ним сульфид железа FeS, который в виде эвтектики Fe - FeS располагается по границам зерен и имеет температуру плавления 988 °С.

Тема:5

5.2. Классификация сталей

Стали классифицируют по химическому составу, способу производства, назначению, качеству, степени раскисления, структуре .

По химическому составу стали классифицируют на углеродистые и легированные. Углеродистые стали разделяются на низкоуглеродистые (до 0,25 % C), среднеуглеродистые (0,3 ... 0,6 % C) и высокоуглеродистые (более 0,6 % C). Легированные стали по содержанию легирующих элементов делятся на низколегированные (до 2,5 %), среднелегированные (2,5 ... 10 %) и высоколегированные (более 10 %). По преобладающему легирующему элементу легированные стали подразделяются на хромистые, марганцовистые, хромоникелевые, хромомарганцево-ванадиевые и др.

По способу производства различают конверторные, мартеновские, электростали и стали особых методов выплавки.

По назначению стали классифицируют на конструкционные, инструментальные, строительные и стали специального назначения с особыми свойствами.

По качеству различают стали обыкновенного качества, качественные, высококачественные и особо высококачественные.

Тема:5

5.3. Углеродистые стали

Углеродистые стали относятся к числу самых распространенных конструкционных материалов. Объем их производства достигает 80 % от общей выплавки стали. Эти стали сочетают в себе высокую прочность и достаточную вязкость, хорошие технологические свойства, они экономичны и не дефицитны. Различают следующие углеродистые стали: конструкционные обыкновенного качества, качественные, специального назначения и инструментальные.

Углеродистые стали обыкновенного качества изготавливают следующих марок: Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст3Г, Ст4, Ст5, Ст5Г и Ст6. Цифры указывают номер стали, с увеличением которого возрастает содержание углерода, поэтому чем больше номер, тем выше прочность и ниже пластичность. Буква Г указывает, что сталь содержит марганец в количестве, превышающем примесную концентрацию этого элемента.

По степени раскисления стали с номерами марок 1 ... 4 выплавляют кипящими, полуспокойными и спокойными; с номерами 3Г, 5, 6 - полуспокойными и спокойными; 5Г - полуспокойной. Не разделяется по степени раскисления лишь сталь марки Ст0.

Тема:5

5.4. Легированные стали

Основными легирующими элементами являются кремний, никель, марганец, хром. Такие элементы, как вольфрам, молибден, ванадий, алюминий, титан и бор, вводят в сталь в сочетании с хромом, никелем и марганцем для дополнительного улучшения свойств. Однако высокие эксплуатационные характеристики легированных сталей обнаруживаются только после закалки и отпуска, так как в отожженном состоянии их механические свойства практически не отличаются от свойств углеродистых сталей. Улучшение механических свойств обусловлено влиянием легирующих элементов на свойства феррита, дисперсность карбидной фазы, устойчивость мартенсита при отпуске, прокаливаемость и размер зерна.

Легирующие элементы, растворяясь в феррите, упрочняют его. Однако упрочнение феррита приводит к снижению ударной вязкости, особенно если концентрация легирующих элементов больше 1 %. Исключение составляет никель, который не снижает вязкости стали.

Тема:5

5.4.1. Конструкционные стали

Цементуемые стали обычно содержат 0,1 ... 0,25 % углерода, а в качестве легирующих элементов - хром, марганец, бор, молибден, ванадий, титан, никель в пределах от 0,002 (В) до 4,4 % (Ni). После цементации, закалки и низкого отпуска изделия из таких сталей имеют высокую поверхностную твердость (58 ... 62 HRC₉) и вязкую сердцевину с твердостью 15 ... 30 HRC₉. К углеродистым цементуемым сталям относятся стали 10, 15, 20. Характерными представителями легированных цементуемых сталей являются:

- стали средней прочности (15ХР, 15Х, 20Х, 20ХН), которые идут на изготовление небольших деталей, эксплуатируемых при средних нагрузках (зубчатые колеса, валы, кулачки и т. п.). Эти стали характеризуются небольшой прокаливаемостью, а детали, изготовленные из них, чувствительны к надрезам;
- стали повышенной прочности (12ХНЗА, 20ХНЗА, 20ХН4А, 18ХГТ, 18Х2НЗМА) идут на изготовление деталей средних и больших размеров, работающих в условиях интенсивного изнашивания при повышенных нагрузках (зубчатые колеса, поршневые пальцы, оси, ролики и др.). Эти стали малочувствительны к перегреву, хорошо прокаливаются и имеют повышенную прочность сердцевины.

5.4.2. Инструментальные стали

К инструментальным сталям относятся легированные стали повышенной прокаливаемости и специальные легированные стали - штамповые и быстрорежущие.

Легированные инструментальные стали в соответствии с особенностями их химического состава условно можно отнести к трем группам.

- *Первую группу* образуют стали X, 9ХС и ХВСГФ. Присадки хрома в количестве 1 ... 1,5 % обеспечивают повышение прокаливаемости сталей. Кремний (до 1,6 %) дополнительно улучшает прокаливаемость и повышает отпускостойчивость. В большей степени условиям рационального легирования отвечает сталь ХВСГФ, дополнительно легированная вольфрамом, ванадием и марганцем. Она обладает наилучшим комплексом свойств среди легированных инструментальных сталей ($\sigma_B = 2500 \dots 2700$ МПа, сохраняет твердость 60 HRC₃ до 250 ... 260 °С).
- *Ко второй группе* относятся стали 9Г2Ф, 9ХВГ и ХВГ, отличающиеся повышенным содержанием марганца при нормальном (на уровне примеси) содержании кремния. Марганец, вызывая при закалке резкое снижение температурного интервала мартенситного превращения в стали, способствует сохранению повышенного количества остаточного аустенита в ее структуре. Как следствие, уменьшается уровень термических напряжений и деформаций при закалке инструмента. По этой причине стали получили название малодеформирующихся.
- *В третью группу* входят стали В2Ф и ХВ4Ф, легированные вольфрамом и отличающиеся повышенной твердостью. У стали ХВ4Ф благодаря образованию в структуре наряду с цементитом карбидов М₆С твердость после термической обработки достигает 68 ... 70 HRC₃. Термическая обработка инструмента, изготовленного из легированных сталей, заключается в отжиге, закалке и низком отпуске. Для вольфрамосодержащих сталей вместо отжига проводят высокий отпуск.

Тема:5

5.4.3. Стали специального назначения

Коррозионно-стойкие (нержавеющие) стали относятся к специальным сталям и идут на изготовление деталей, работающих под воздействием агрессивных сред. Эти стали при эксплуатации должны обладать не только определенными механическими свойствами, но и высокой коррозионной стойкостью. Наиболее часто в таких случаях используются хромистые и хромоникелевые стали.

Хромистые нержавеющие стали содержат 0,1 ... 0,45 % углерода и не менее 13 % хрома. Они сопротивляются коррозии при температуре не выше 30 °С во влажной атмосфере воздуха, водопроводной и речной воде, азотной и многих органических кислотах. В морской воде они подвержены коррозионному растрескиванию.

Хромоникелевые нержавеющие стали 04X18H10, 08X18H10, 12X18H10T содержат большое количество хрома и никеля, мало углерода и относятся к сталям аустенитного класса, в структуре которых иногда присутствуют карбиды хрома. Они используются в тех же средах, что и хромистые, но могут работать и при повышенных температурах. Эти стали технологичны, хорошо обрабатываются давлением и сваркой.

Тема:6

ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

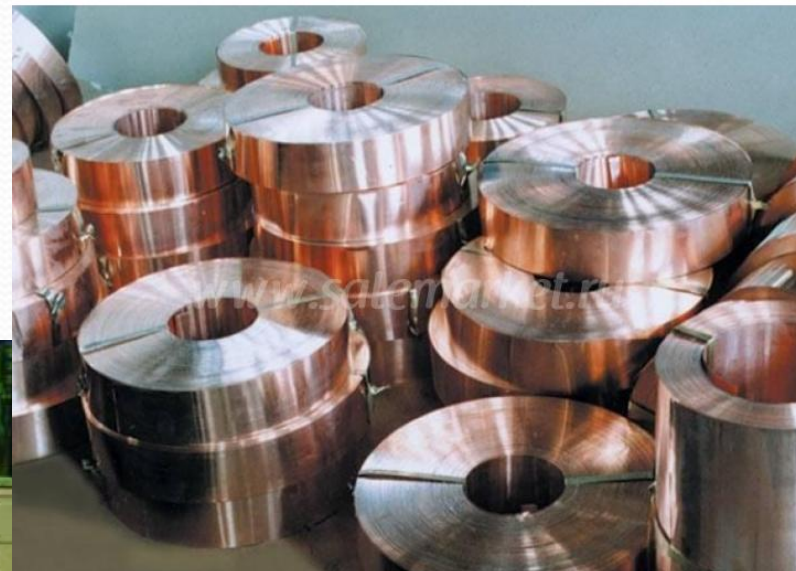
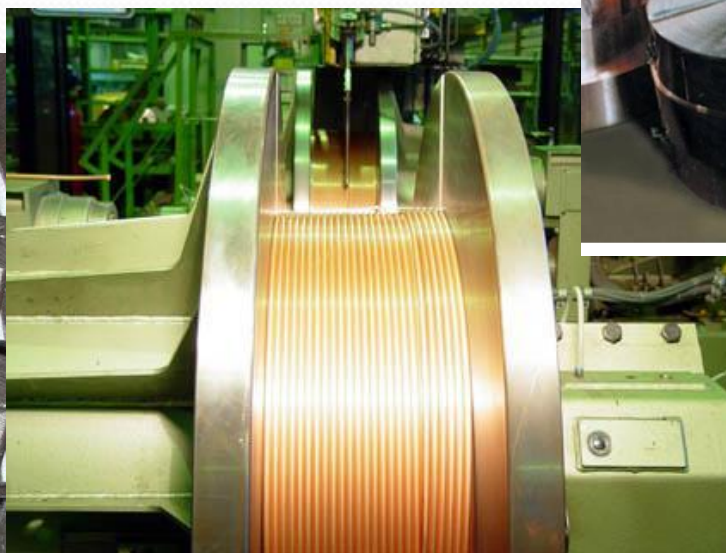
6.1. Общее понятие о цветных металлах

6.2. Алюминий и его сплавы

6.3. Магний и его сплавы

6.4. Медь и ее сплавы

6.5. Титан и его сплавы



6.1. Общее понятие о цветных металлах

Традиционно к цветным металлам относятся все металлы, кроме железа и его сплавов, которые составляют группу черных металлов.

Цветные металлы и сплавы на их основе, несмотря на более высокую стоимость по сравнению со сплавами на основе железа, нашли широкое применение в различных отраслях машиностроения. Это объясняется их уникальными физическими и химическими свойствами, а в ряде случаев высокой удельной прочностью, что является определяющим фактором для таких областей, как авиа- и ракетостроение.

Удельная прочность сплавов на основе цветных металлов соизмерима, а иногда и выше, чем у высоколегированной стали. Если учесть высокую тепло- и электропроводность, хорошую коррозионную стойкость и технологичность большинства сплавов на основе меди, алюминия, титана и магния, можно легко объяснить их широкое распространение в технике.

6.2. Алюминий и его сплавы

Алюминий имеет гранцентрированную кубическую решетку, которая не претерпевает полиморфных превращений при нагреве. Температура плавления алюминия $660\text{ }^{\circ}\text{C}$. Этот металл имеет низкую плотность ($2,7\text{ г/см}^3$) и прочность ($\sigma_{\text{в}} = 100\text{ МПа}$), высокие электро- и теплопроводность, пластичность ($\delta = 50\%$) и коррозионную стойкость. Высокая коррозионная стойкость алюминия обусловлена образованием на его поверхности плотной пленки оксида Al_2O_3 . Легирование медью, магнием, цинком, кремнием и реже лантаном, ниобием, никелем резко улучшает его механические и технологические свойства.

Алюминиевые сплавы широко применяются в пищевой промышленности, автостроении, электротехнике, строительных конструкциях и криогенной технике, но их основная область применения - самолетостроение.

Высокочистый алюминий марок А995, А99, А97, А95, содержащий $0,005 \dots 0,15\%$ примесей, используется в лабораторных целях и для приготовления особо чистых сплавов. Алюминий технической чистоты марок А85, А8, А7, А5 и А0 с примесями $0,15 \dots 1\%$ применяют для получения технических сплавов.

6.3. Магний и его сплавы

Магний имеет низкую плотность (1,73 г/см³); у него гексагональная плотноупакованная кристаллическая решетка, которая не претерпевает превращений до температуры плавления (650 °С).

Выпускается несколько марок чистого магния: Мг96 (99,96 % Mg), Мг95 и Мг90. Примеси железа, кремния, никеля, меди снижают и без того низкую пластичность и коррозионную стойкость. На воздухе нагрев свыше 623 °С приводит к его воспламенению.

Необходимо отметить, что термическая обработка сплавов затруднена в связи с медленной диффузией примесей. Так, нагрев и выдержка деталей перед закалкой протекают в течение 25 ... 30 ч. По той же причине естественного старения не происходит, требуется нагрев и длительная выдержка при 200 °С. Закалку можно производить, охлаждая деталь на воздухе.

Дополнительного повышения прочности можно добиться термомеханической обработкой, т. е. пластической деформацией закаленных заготовок перед их старением.

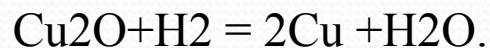
6.4. Медь и ее сплавы

Медь - металл красного цвета, плотность которого составляет 8,9 г/см³, а температура плавления - 1083 °С. Медь имеет гранцентрированную кубическую решетку и не претерпевает превращений при нагреве. Чистая медь обладает высокой электропроводностью, пластичностью и коррозионной стойкостью. Свойства меди зависят от степени чистоты металла. Уровень содержания примесей определяет ее марку: М00 - 99,99 % Cu; М0 - 99,9; М1 - 99,00; М2-99,7 и М3 - 99,5 % Cu.

В литом состоянии прочностные свойства меди невысокие ($\sigma_{\text{в}}$ - 160 МПа), но пластичность хорошая (δ - 25 %). Холодная пластическая деформация позволяет повысить $\sigma_{\text{в}}$ до 450 МПа, но пластичность при этом снижается ($\delta < 3$ %).

Медь хорошо куется, но плохо обрабатывается резанием и из-за большой усадки и низкой жидкотекучести имеет плохие литейные свойства.

При нагреве меди, содержащей кислород, во влажной атмосфере проявляется «водородная болезнь» меди:



Образующиеся между зернами пары воды создают высокое давление и способствуют образованию трещин.

6.5. Титан и его сплавы

Титан по распространенности занимает четвертое место среди металлов, его содержание в земной коре превышает 0,6 %. Тем не менее из-за сложности извлечения из руд промышленное применение он нашел лишь во второй половине XX в. в основном в самолето- и ракетостроении. Плотность титана 4,5 г/см³, а температура плавления - 1672 °С. Он имеет две полиморфные модификации: α-титан с ГПУ решеткой, которая устойчива при температуре до 882 °С, β-титан с ОЦК решеткой, устойчивой при температурах выше 882 °С.

Титан обладает самой высокой удельной прочностью в интервале температур 300 ... 600 °С, но из-за низкого модуля упругости ($E= 112\ 000$ МПа) его применение для производства жестких конструкций нежелательно.

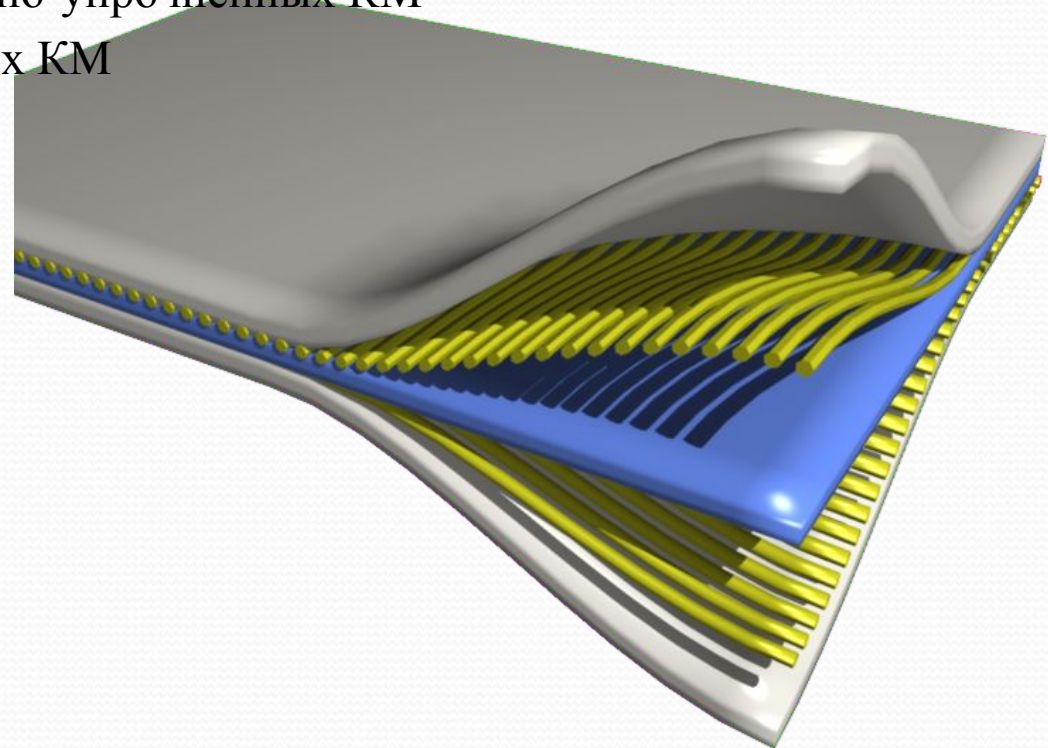
Несмотря на высокую химическую активность титана, стойкая пассивирующая пленка TiO₂ на поверхности изделий из него защищает их от коррозии в атмосфере, морской воде и органических кислотах.

Чистый титан пластичен, легко обрабатывается давлением, хорошо сваривается в защитных атмосферах.

Тема:7

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- 7.1. Классификация композиционных материалов
- 7.2. Особенности получения КМ жидкофазными методами
- 7.3. Особенности получения КМ твердофазными методами
- 7.4. Методы и условия получения эвтектических КМ
- 7.5. Технология изготовления дисперсно-упрочненных КМ
- 7.6. Технология изготовления слоистых КМ



7.1. Классификация композиционных материалов

Композиционными материалами (КМ) называют материалы, созданные из двух или более компонентов, различающихся по химическому составу, разделенные ярко выраженной границей с новыми свойствами, отличающимися от свойств компонентов. Свойства, размеры, форма и распределение компонентов в КМ проектируются заранее и формируются в процессе изготовления. КМ подразделяют на волокнистые, слоистые и упрочненные дисперсными частицами. Компонент, непрерывный в объеме КМ, называют матрицей, прерывистый - армирующим элементом. В зависимости от геометрии армирующих элементов и их взаимного расположения свойства КМ могут быть одинаковыми во всех направлениях - изотропными (дисперсно-упрочненные КМ) и различными - анизотропными (КМ, упрочненные непрерывными волокнами, ориентированными в определенных направлениях).

КМ, армированные стекловолокнами, называют стеклопластиковыми, металлическими волокнами - металлопластиковыми, борными - боропластиковыми, углеродистыми - углепластиковыми и т. д.

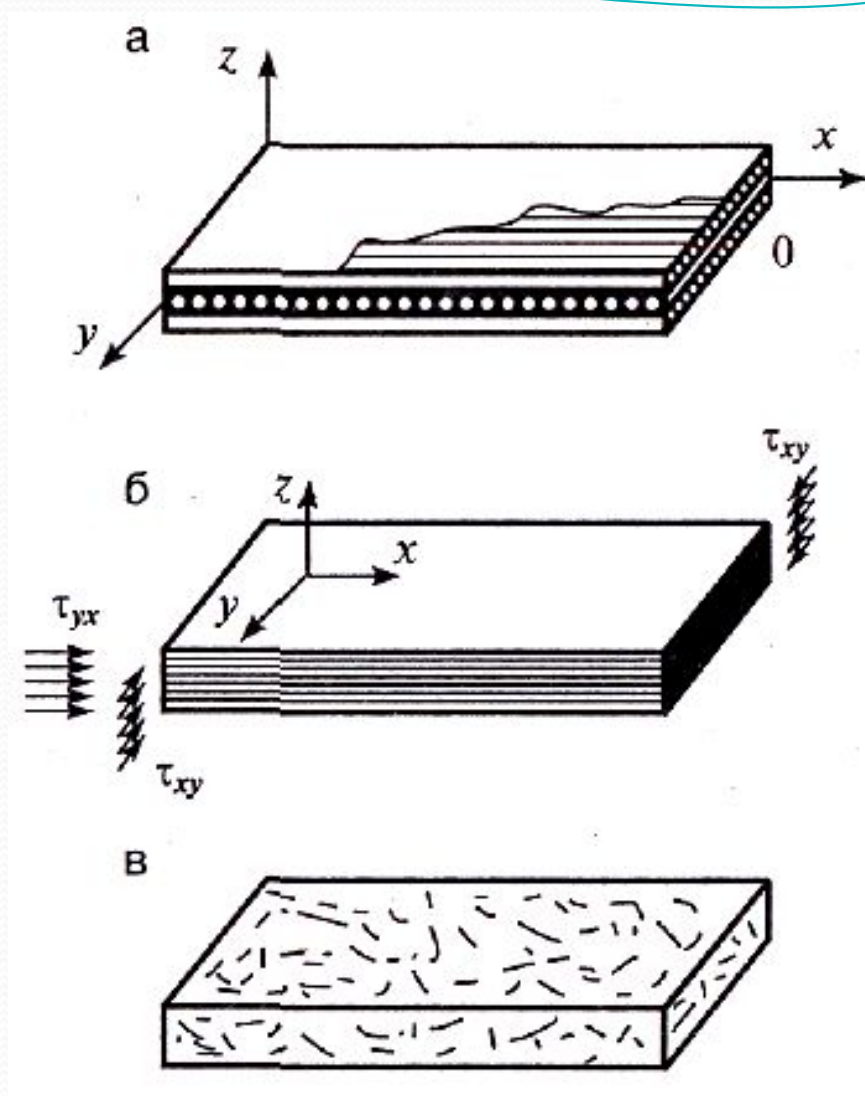


Рис. 2.7. Схема расположения упрочнителей в композиционных материалах:
а - волокнистых; б - слоистых; в - дисперсно-упрочненных

7.2. Особенности получения КМ жидкофазными методами

Выбор метода получения КМ основан на анализе межфазного взаимодействия компонентов, их химической и механической совместимости. Химическая совместимость - это способность компонентов в условиях эксплуатации не образовывать хрупких химических соединений, которые разрушаются под действием внешней нагрузки. Металлы в КМ могут образовывать твердые растворы, механические смеси или хрупкие химические соединения. Если в зоне соединения компонентов КМ не образуется хрупких интерметаллидных соединений, а формируется пластичный переходный слой, то такой КМ обладает высокими эксплуатационными свойствами. Прочность связи компонентов определяется их химической и механической совместимостью по модулям упругости, коэффициентам термического расширения, пределам прочности и показателям пластичности.

7.3. Особенности получения КМ твердофазными методами

В твердофазных методах получения КМ материал матрицы имеет вид порошка, фольги, листов, ленты; волокна могут быть непрерывные, дискретные, в виде ткани и жгутов. Для получения КМ используют высокопроизводительные процессы обработки давлением: прокатку (теплую или горячую), прессование в пресс-формах с обогреваемыми плитами, динамическое горячее прессование, горячее прессование, экструзию, взрывное компактирование, диффузионную сварку. В качестве исходных заготовок для обработки в твердой фазе могут использоваться КМ, полученные литьем или методом осаждения-напыления.

В зависимости от назначения и условий работы изделия выбирают компоненты КМ, объемную долю каждого из них, их расположение и размеры. Для двухкомпонентных КМ, армированных непрерывными волокнами, прочность КМ определяют по уравнению аддитивности

$$\sigma_{\text{КМ}} = k_f \sigma_{\text{в}} V_f + k_m \sigma_m (1 - V_f),$$

где $\sigma_{\text{в}}$ - временное сопротивление волокна, МПа; σ_m - приведенная прочность матрицы, МПа; V_f - объемная доля волокна, %; k_f , k_m - коэффициенты, зависящие от условий работы волокна и матрицы.

7.4. Методы и условия получения эвтектических КМ

Эвтектическими КМ называют материалы, полученные кристаллизацией из сплавов эвтектического состава, в которых армирующей фазой служат ориентированные волокна или пластинчатые кристаллы, образованные в процессе направленной кристаллизации. Направленную кристаллизацию осуществляют перемещением расплава в зону охлаждения с постоянным температурным градиентом (метод Бриджмена). Эвтектические КМ получают, создавая плоский фронт кристаллизации. Температурный градиент составляет 50 ... 70 °С/см, в усовершенствованных конструкциях - до 500 °С/см. Если объемная доля армирующей фазы менее 12 %, образуется волокнистая структура, свыше 32 % - пластинчатая. С ростом объемной доли упрочнителя прочность эвтектических КМ повышается.

Эвтектические КМ изготавливают на основе сплавов алюминия (Al - Al₃Ni, Al - CuAl₂, Al - Be, Al - Si), никеля (Ni - NiBe, Ni - Cr, Ni - NiMo, Ni - W), кобальта (Co - CoAl, Co - NbC, Co - Co₇N₆, (Co - Ni - Cr - Al - TaC) и т. д.

Высокопрочные эвтектические КМ имеют совершенную структуру, термически стабильную вплоть до температур плавления эвтектики.

7.5. Технология изготовления дисперсно-упрочненных КМ

Дисперсно-упрочненные КМ относятся к классу порошковых КМ. Упрочняющей фазой являются дисперсные частицы (оксиды, карбиды, нитриды) размером менее 0,1 мкм с объемной долей до 15 %. Методы получения дисперсно-упрочненных КМ: механическое и химическое смешивание порошков, поверхностное или внутреннее окисление, механическое легирование.

Поверхностное окисление металла упрочнителя осуществляют при распылении жидкого металла в контролируемой окислительной атмосфере. Внутреннее окисление заключается в контролируемом окислении порошков низколегированных твердых растворов. Окисляется компонент, имеющий большее сродство к кислороду, при температуре, обеспечивающей необходимую скорость диффузии кислорода. Средний размер упрочняющей фазы составляет 0,01 ... 0,02 мкм.

Высокоплотные изделия получают спеканием при нагреве до (0,7 ... 0,9) $T_{пл}$ и выдержке в защитной атмосфере или вакууме. Возможно совмещение процесса прессования и спекания (горячее прессование), а также горячая экструзия и прокатка. Горячее прессование осуществляют при нагреве до (0,5 ... 0,8) $T_{пл}$ матричного материала. Горячая экструзия позволяет получить беспористую деталь при давлении 1000 ... 1400 МПа. Горячую прокатку ведут с обжатием за проход 10 ... 15 % при суммарном обжатии 40 ... 60 %.

7.6. Технология изготовления слоистых КМ

Слоистые материалы в виде листов, труб, прутков, лент, заготовок изготавливают прессованием, прокаткой, волочением, центробежным литьем, диффузионной сваркой, сваркой взрывом, пайкой и склеиванием из исходных компонентов. Соединение компонентов по большой площади контакта требует при жидкофазном методе смачиваемости компонентов, при твердофазном методе - определенного давления и температуры для протекания диффузионных процессов и определенного времени выдержки.

Для соединения компонентов необходимо очистить поверхности от загрязнений, оксидов, масел. Процессу соединения в твердой фазе сопутствует пластическая деформация, которая для большинства сплавов ведется в нагретом состоянии. Соединение компонентов при диффузионной сварке, основанное на процессе диффузии, осуществляется в вакууме.

Выбор компонентов слоистых КМ осуществляют, исходя из их совместимости (механической и химической), в условиях изготовления и эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- *Адаскин А. М., Седов Ю. Е. и др.* Материаловедение. М.: Высшая школа, 2005. 456 с.
- *Арзамасов Б. Н., Макарова В. И. и др.* Материаловедение. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана Н. Э., 2003. 648 с.
- *Арзамасов Б. Н., Сидорин И. И. и др.* Материаловедение. М.: Машиностроение, 1986. 384 с.
- *Берлин В. И., Захаров Б. В. и др.* Транспортное материаловедение. М.: Транспорт, 1982. 288 с.
- *Колесов С. Н., Колесов И. С.* Материаловедение и технология конструкционных материалов. М.: Высшая школа, 2004. 519 с.
- *Лахтин Ю. М.* Материаловедение и термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1983. 360 с.
- *Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П.* Материаловедение. М.: Машиностроение, 1980. 493 с.
- *Мозберг Р. К.* Материаловедение. М.: Высшая школа, 1991.
- *Травин О. В., Травина Н. Т.* Материаловедение. М.: Металлургия, 1989. 384 с.
- *Фетисов Г. П., Карпман М. Г. и др.* Материаловедение и технология металлов. М.: Высшая школа, 2006. 862 с.