

Конструкционные материалы

Металлы и металлические сплавы

Строение металлов

Все вещества в твердом состоянии могут иметь:

- кристаллическое строение;
- аморфное строение.

В **аморфном веществе** атомы расположены **хаотично**, а в **кристаллическом** — в **строго определенном порядке**.

Все металлы в твердом состоянии имеют кристаллическое строение.

Для описания **кристаллической структуры** металлов пользуются понятием **кристаллической решетки**.

Кристаллическая решетка — это воображаемая пространственная сетка, в узлах которой расположены атомы.

Наименьшая часть кристаллической решетки, определяющая структуру металла, называется **элементарной кристаллической ячейкой**.

Основные типы элементарных кристаллических решеток

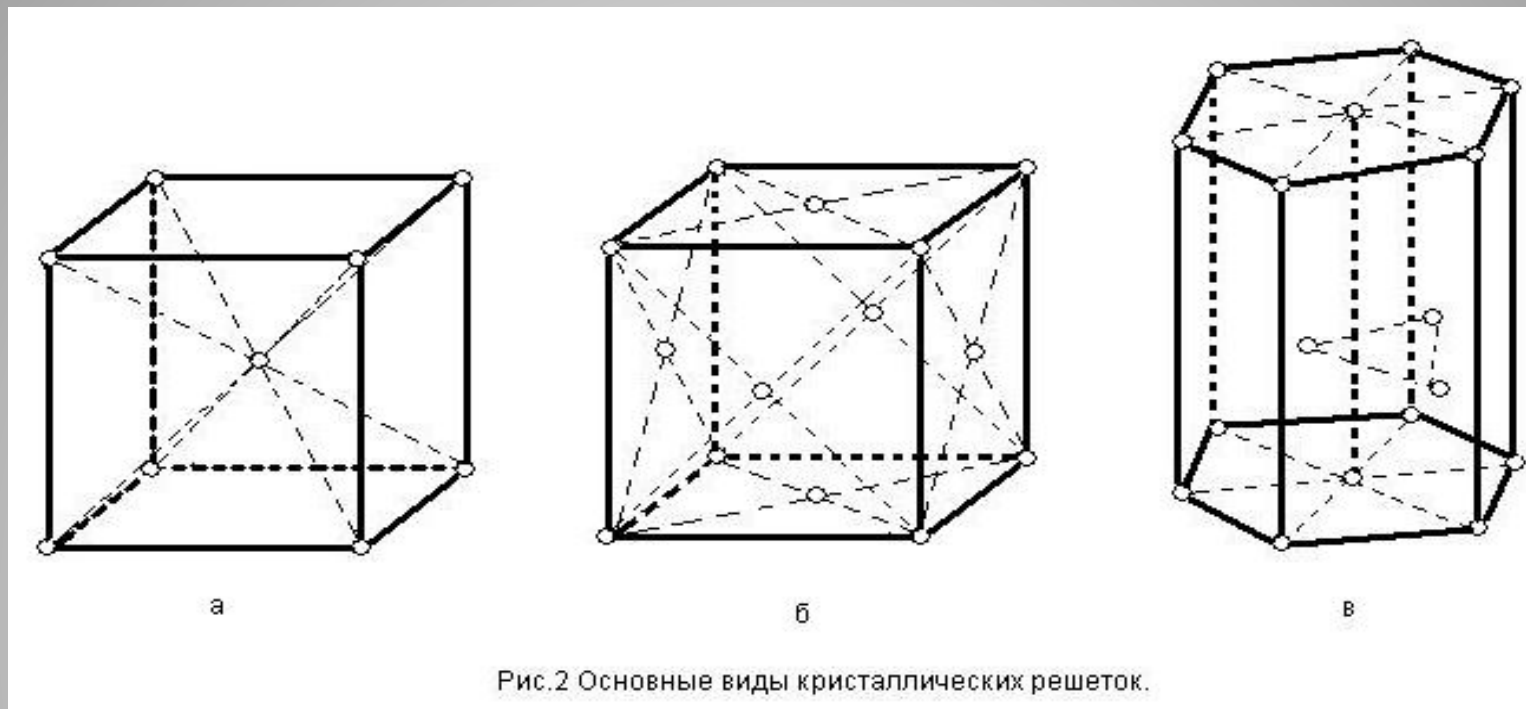


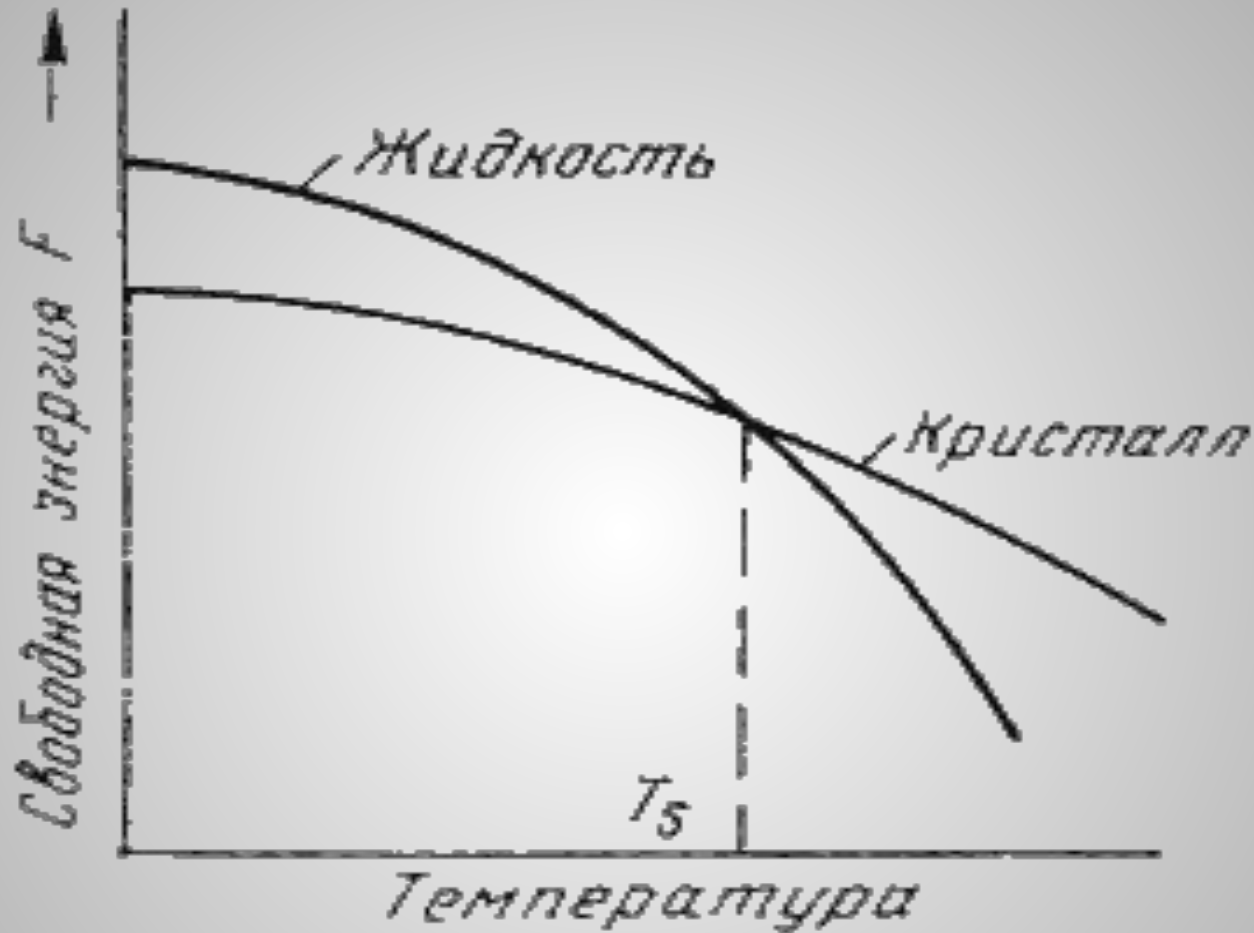
Рис.2 Основные виды кристаллических решеток.

- В **кубической объемноцентрированной решетке – о.ц.к.** (рис. 2, а) атомы расположены в углах ячейки и один атом в центре куба (**хром, вольфрам, молибден, тантал, литий и др.**);
- В **кубической гранецентрированной решетке – г.ц.к.** (рис. 2, б) атомы расположены в вершинах куба и в центре каждой грани (**алюминий, медь, никель и др.**);
- В **гексагональной плотноупакованной решетке – г.п.у.** (рис. 2, в) атомы расположены в вершинах и центрах оснований шестигранной призмы и три атома в середине призмы (**магний, цинк, кадмий, бериллий и др.**)

Механизм и закономерности кристаллизации металлов

- Любое вещество может находиться в **трех агрегатных состояниях**:
 - твердом;
 - жидком;
 - газообразном.
- Возможен переход из одного состояния в другое, если **новое состояние** в новых условиях **является более устойчивым, обладает меньшим запасом энергии**.
- С изменением внешних условий свободная энергия **изменяется по сложному закону различно** для жидкого и кристаллического состояний.
- **Характер изменения свободной энергии** жидкого и твердого состояний с изменением температуры показан на рис. 3.1.

Изменение свободной энергии в зависимости от температуры



Согласно рисунка **выше** температуры T_s вещество должно находиться в **жидком состоянии**, а **ниже** T_s — в **твердом**.

Пояснения к механизму кристаллизации

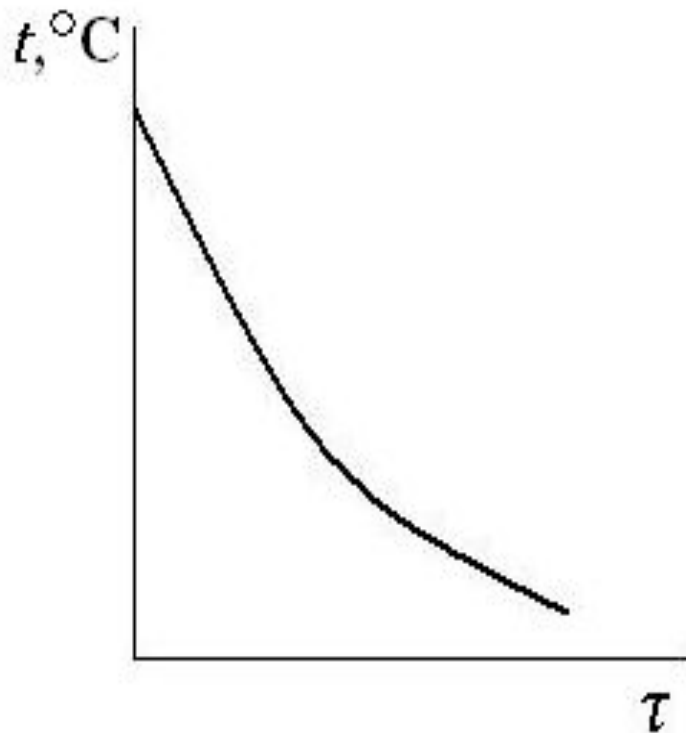
- При температуре **равной T_s** жидкая и твердая фаза обладают **одинаковой энергией**, **металл** в обоих состояниях **находится в равновесии**, поэтому две фазы могут существовать одновременно бесконечно долго.
- **Температура T_s – равновесная или теоретическая температура кристаллизации.**
- Для начала процесса кристаллизации необходимо, чтобы процесс был **термодинамически выгоден системе** и сопровождался **уменьшением свободной энергии системы.**
- Это возможно **при охлаждении жидкости ниже температуры T_s .**
- Температура, при которой практически начинается кристаллизация, называется **фактической температурой кристаллизации.**

Переход металла из жидкого состояния в твердое

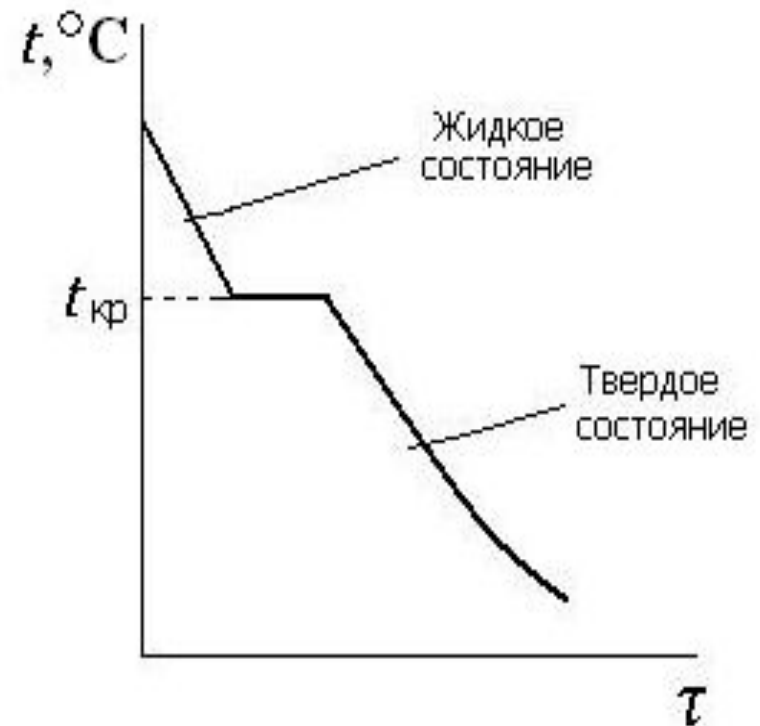
- **При нагреве** всех кристаллических тел наблюдается **четкая граница перехода из твердого состояния в жидкое**.
- Такая же граница существует при переходе из жидкого состояния в твердое.
- **Кристаллизация** – это *процесс образования участков кристаллической решетки в жидкой фазе* и *рост кристаллов из образовавшихся центров*.
- Кристаллизация протекает в условиях, когда система переходит к *термодинамически более устойчивому состоянию с минимумом свободной энергии*.
- **Процесс перехода металла** из жидкого состояния в кристаллическое можно изобразить **кривыми в координатах время – температура**, так называемые *кривые охлаждения чистого металла*.

Кристаллизация металлов

Для изучения процесса кристаллизации строят **кривые охлаждения металлов**, которые показывают изменение температуры (t) во времени (τ).



а



б

Рис. 3 Кривые охлаждения аморфного и кристаллического тел.

- **Затвердевание аморфного вещества** (рис. 3, а) происходит **постепенно**, без резко выраженной границы между жидким и твердым состоянием.
- На кривой охлаждения кристаллического вещества (рис. 3, б) имеется горизонтальный участок с температурой $t_{кр}$, **называемой температурой кристаллизации**.
- Наличие этого участка говорит о том, что процесс сопровождается **выделением скрытой теплоты кристаллизации**.
- **Длина горизонтального участка — это время кристаллизации.**

Кристаллизация металла происходит постепенно. Она объединяет два процесса, происходящих одновременно:

- **возникновение центров кристаллизации;**
- **рост кристаллов.**

В процессе кристаллизации когда растущий кристалл окружен жидкостью, он имеет **правильную геометрическую форму.**

- При столкновении растущих кристаллов их правильная форма нарушается.
- После окончания кристаллизации **образуются кристаллы неправильной формы**, которые называются **зернами или кристаллитами (рис. 4)**

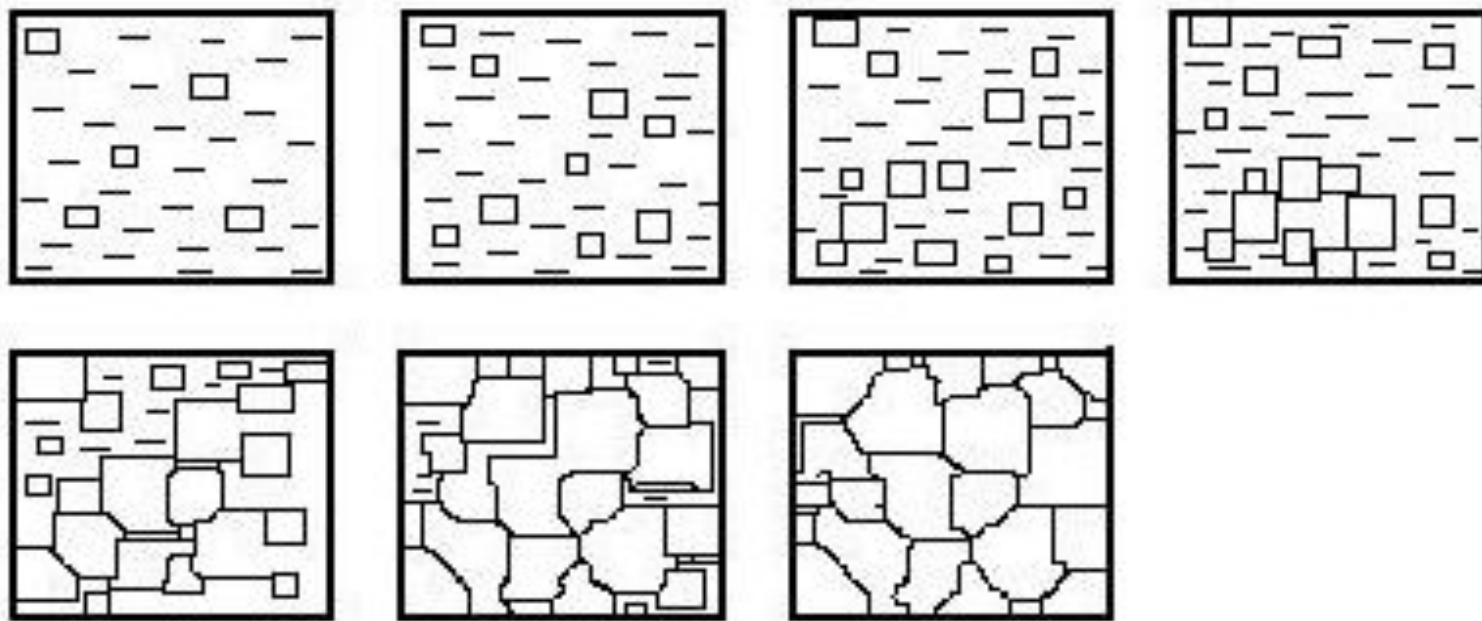


Рис. 4. Схема процесса кристаллизации металла.

Внутри каждого зерна имеется определенная ориентация кристаллической решетки, отличающаяся от ориентации решеток соседних зерен.

Полиморфизм

- **Некоторые металлы** в зависимости от температуры **могут существовать в различных кристаллических формах.**
- Это явление называется **полиморфизм** или **аллотропия**, а различные кристаллические формы одного вещества называются **полиморфными модификациями.**
- **Процесс перехода** от одной кристаллической формы к другой **называется полиморфным превращением.**
- *Полиморфные превращения протекают при определенной температуре.*
- **Полиморфные модификации** обозначают строчными греческими буквами **α , β , γ , δ** и т. д., причем **α** соответствует модификации, существующей **при наиболее низкой температуре.**
- Полиморфизм характерен для **железа, олова, кобальта, марганца, титана** и некоторых других металлов.

Полиморфизм железа

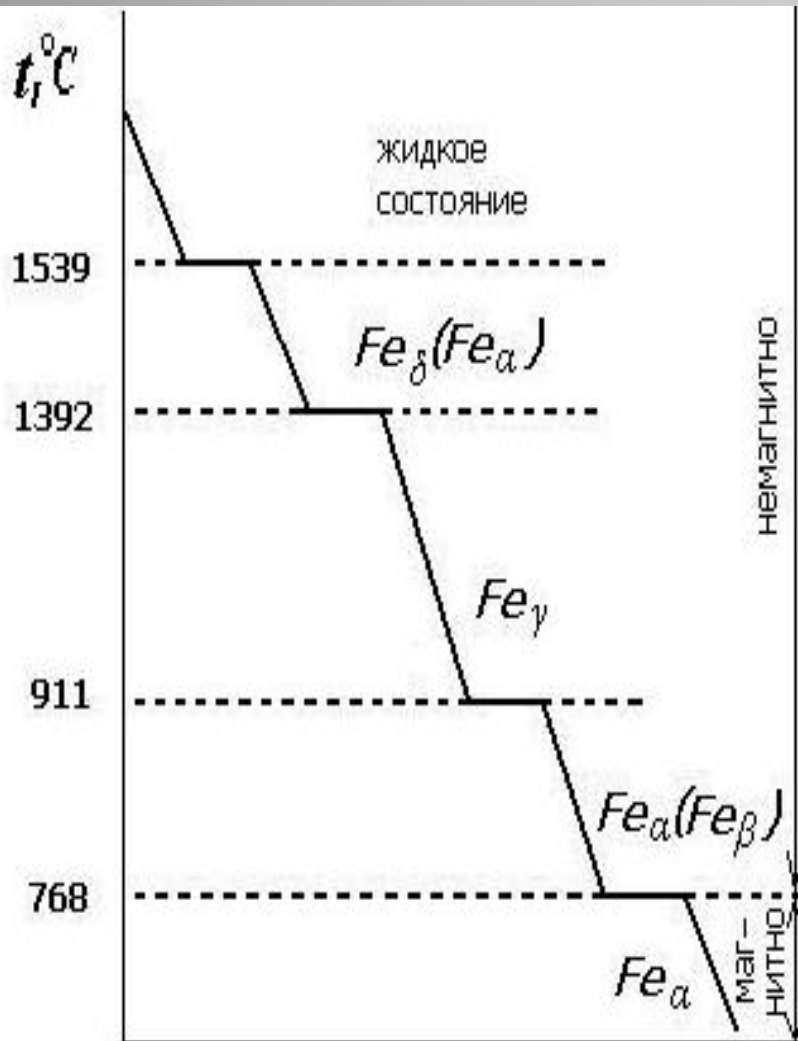


Рис.5 Кривая охлаждения железа.

Полиморфные превращения характеризуются горизонтальными участками на кривой охлаждения, так как при них происходит полная перекристаллизация металла.

До 911 °C устойчиво Fe_α , имеющее кубическую объемноцентрированную решетку.

В интервале 911...1392 °C существует Fe_γ с кубической гранцентрированной кристаллической решеткой.

При 1392...1539 °C вновь устойчиво Fe_α . Часто высокотемпературную модификацию Fe_α обозначают Fe_δ .

До 768 °C железо магнитно, а выше — немагнитно.

Дефекты кристаллического строения

Реальный металлический кристалл всегда имеет дефекты кристаллического строения, которые подразделяются на:

- **точечные;**
- **линейные;**
- **поверхностные.**

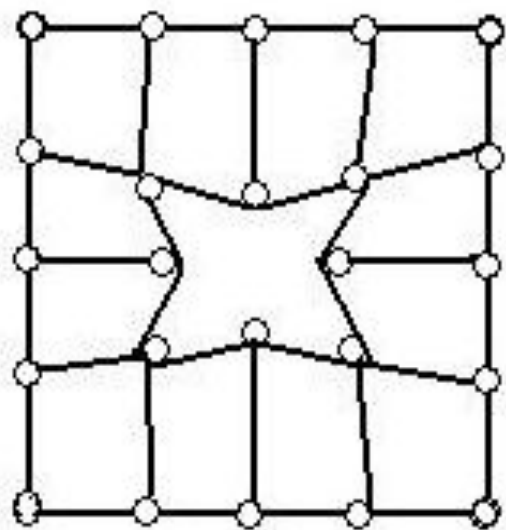
Точечные дефекты малы во всех трех измерениях.

К точечным дефектам относятся:

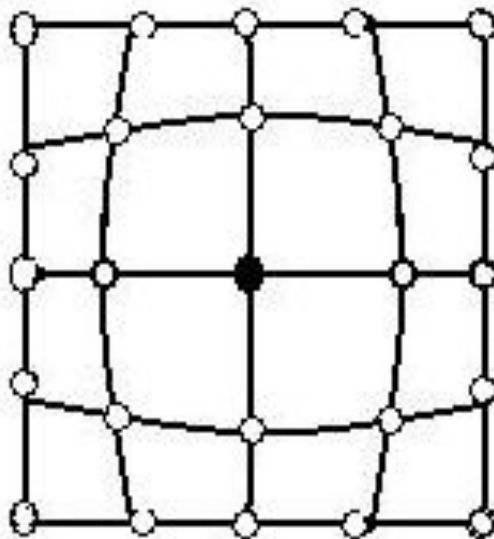
- **вакансии, представляющие собой узлы кристаллической решетки в которых отсутствуют атомы (рис. 6, а);**
- **замещенные атомы примеси (рис. 6, б);**
- **внедренные атомы (рис. 6, в), которые могут быть как примесными, так и атомами основного металла.**

Точечные дефекты вызывают **местные искажения** кристаллической решетки, которые затухают достаточно быстро по мере удаления от дефекта.

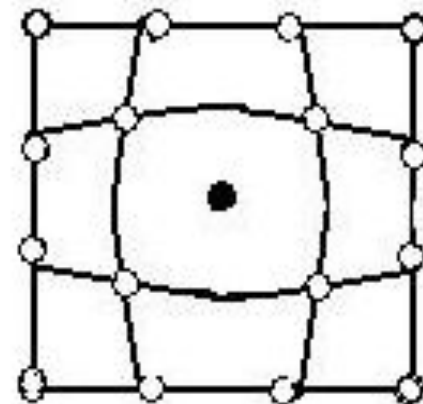
Виды точечных дефектов



а



б



в

Рис. 6 Схемы точечных дефектов в кристаллах.

Описание точечных дефектов

- **Вакансия** – отсутствие атомов в узлах кристаллической решетки, «дырки», которые образовались в результате различных причин:
 - при переходе атомов с поверхности в окружающую среду;
 - при выходе атомов из узлов решетки на поверхность (границы зерен, пустоты, трещины и т. д.).
- Вакансии образуются либо в результате пластической деформации, либо при облучении тела атомами или частицами высоких энергий.
- **Концентрация вакансий** в значительной степени определяется температурой тела.
- Перемещаясь по кристаллу, **одиночные вакансии могут встречаться** и **объединяться** в дивакансии.
- **Скопление** многих **вакансий** может привести к **образованию пор и пустот**.

- **Дислоцированный атом** – это атом, вышедший из узла решетки и занявший место в междоузлии (**внедренный атом**).
- **Концентрация дислоцированных атомов** значительно **меньше**, чем **вакансий**, так как для их образования **требуются существенные затраты энергии**.
- При этом на месте переместившегося атома образуется вакансия.
- **Замещенные (примесные) атомы** всегда присутствуют в металле, так как практически невозможно выплавить химически чистый металл.
- **Точечные дефекты** вызывают **незначительные искажения решетки**, что может привести к изменению свойств тела (**электропроводность, магнитные свойства**), их наличие способствует процессам диффузии и протеканию фазовых превращений в твердом состоянии.
- При перемещении по материалу дефекты могут взаимодействовать.

Линейные дефекты

- Дефекты, имеющие малые размеры в двух измерениях и большую протяженность в третьем, называются **линейными**.
- Основными **линейными дефектами** являются **дислокации**.
- Априорное представление о дислокациях впервые использовано в 1934 году Орованом и Тейлером при исследовании **пластической деформации** кристаллических материалов, для объяснения **большой разницы** между **практической и теоретической прочностью металла**.
- **Дислокация** – это дефекты кристаллического строения, представляющие собой линии, вдоль и вблизи которых **нарушено характерное для кристалла правильное расположение атомных плоскостей**.
- Простейшие виды дислокаций – **краевые и винтовые**.
- *Большинство дислокаций образуются путем сдвигового механизма.*

Поверхностные дефекты

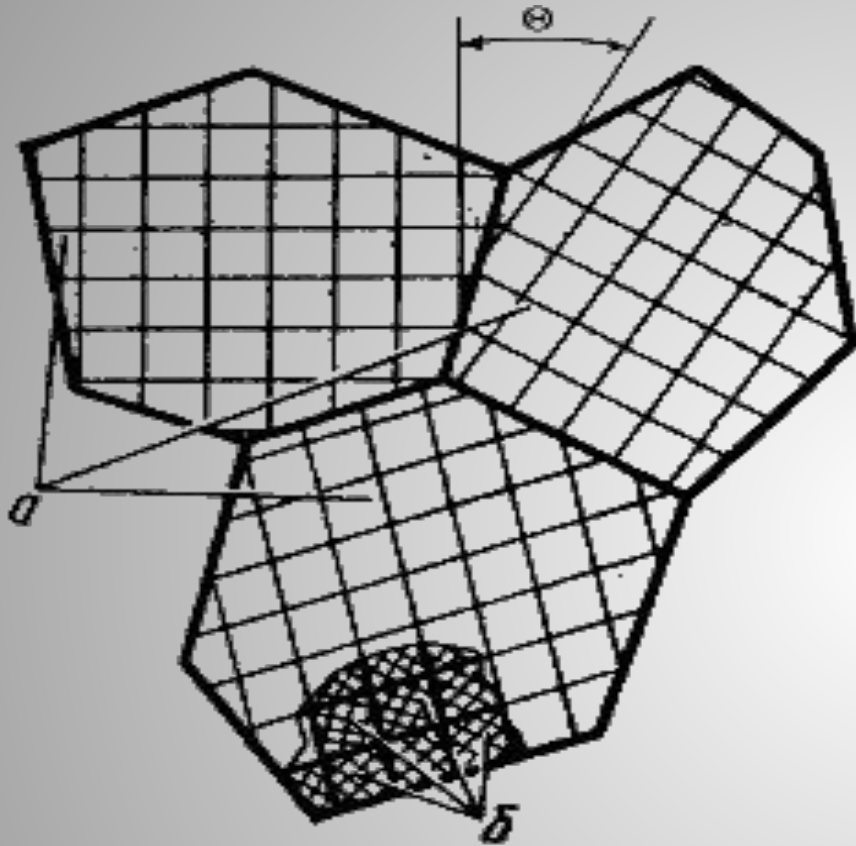


Рис. Разориентация зерен и блоков в металле

Поверхностные дефекты – **границы зерен, фрагментов и блоков.**

- Размеры зерен составляют до 1000 мкм.
- **Углы разориентации** составляют до нескольких десятков градусов (Θ).
- **Граница между зернами** представляет собой тонкую в 5 – 10 атомных диаметров поверхностную зону с максимальным нарушением порядка в расположении атомов.

Участки, разориентированные один относительно другого на несколько градусов, называются **фрагментами** (б).

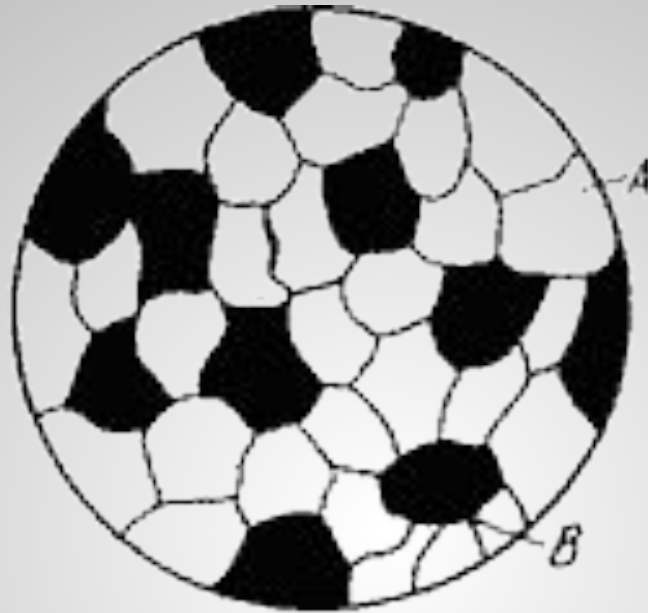
Металлические сплавы

- **Металлическим сплавом** называется материал, полученный сплавлением **двух или более металлов** или **металлов с неметаллами**, обладающий металлическими свойствами.
- Вещества, которые образуют сплав называются **компонентами**.
- **Фазой** называют **однородную** часть сплава, характеризующуюся определенными составом и строением и отделенную от других частей сплава поверхностью раздела.
- Под **структурой** понимают **форму, размер** и **характер взаимного расположения фаз** в металлах и сплавах.
- **Структурными составляющими** называют обособленные части сплава, имеющие одинаковое строение с присущими им характерными особенностями.

Виды сплавов по структуре

- По характеру взаимодействия компонентов все сплавы подразделяются на три основных типа:
 - *механические смеси;*
 - *химические соединения;*
 - *твердые растворы.*
- Сплавы *механические смеси* образуются, когда **компоненты А и В:**
 - не способны к *взаимному растворению* в твердом состоянии;
 - не вступают в *химическую реакцию* с образованием соединения.
- **Механические смеси** образуются между **элементами**, значительно различающимися по строению и свойствам, когда **сила взаимодействия** между однородными атомами **больше**, чем между разнородными.

Схема микроструктуры механической смеси (на рис.)

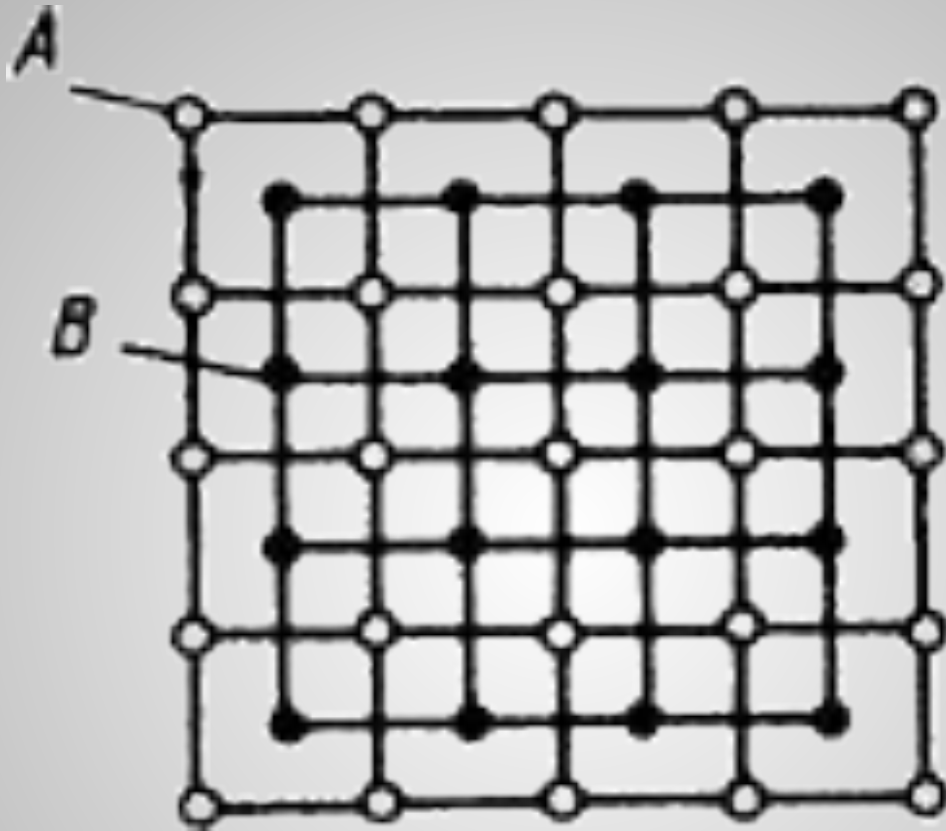


- В сплавах **сохраняются кристаллические решетки компонентов.**
- **Структура** механических смесей **неоднородная**, состоящая из **отдельных зерен компонента А и компонента В.**
- **Свойства** механических смесей **зависят от количественного соотношения компонентов:** чем больше в сплаве данного компонента, тем ближе к его свойствам свойства смеси.

Сплавы химические соединения

- **Сплавы химические соединения образуются между элементами, значительно различающимися по строению и свойствам, если сила взаимодействия между разнородными атомами больше, чем между однородными.**
- **Химическое соединение** образуется когда компоненты сплава A и B вступают в химическое взаимодействие.
- Для химических соединений характерно постоянство состава, то есть сплав образуется при определённом соотношении компонентов, химическое соединение обозначается $A_m B_n$.
- **Химическое соединение имеет свою кристаллическую решётку**, которая отличается от кристаллических решёток компонентов.
- **Химические соединения имеют однородную структуру, состоящую из одинаковых по составу и свойствам зерен.**

Кристаллическая решетка химического соединения

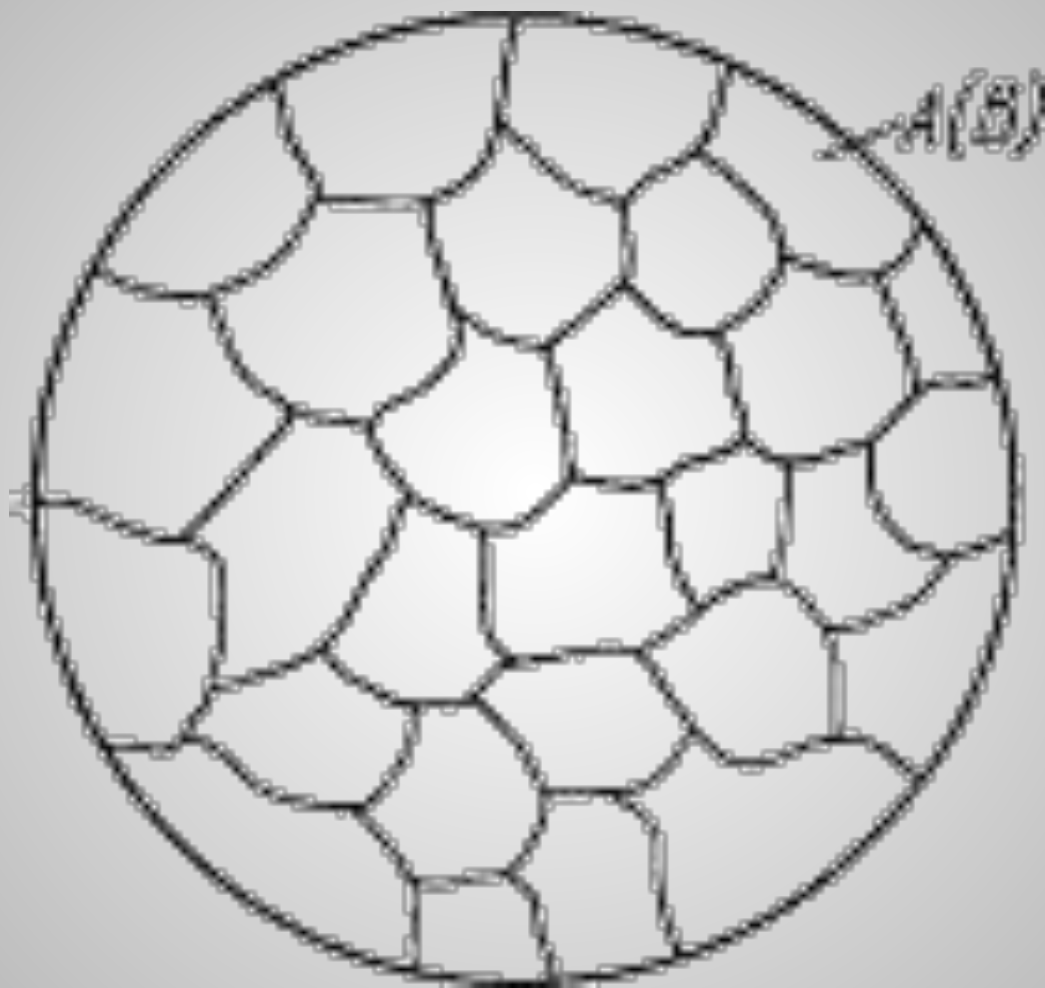


- **Химическое соединение** имеет ярко выраженные индивидуальные свойства.
- Для таких сплавов характерно **постоянство температуры кристаллизации**, как у чистых компонентов.

Сплавы твердые растворы

- **Сплавы твердые растворы** – это твердые фазы, в которых **соотношения компонентов** могут **изменяться**.
- **Сплавы твердые растворы** являются **кристаллическими веществами**.
- **Характерной особенностью** твердых растворов является: **наличие** в их кристаллической решетке **разнородных атомов при сохранении типа решетки растворителя**.
- **Твердый раствор состоит из однородных зерен**.
- При образовании **твёрдого раствора** атомы одного компонента **входят в кристаллическую решетку другого**.

Схема микроструктуры твердого раствора

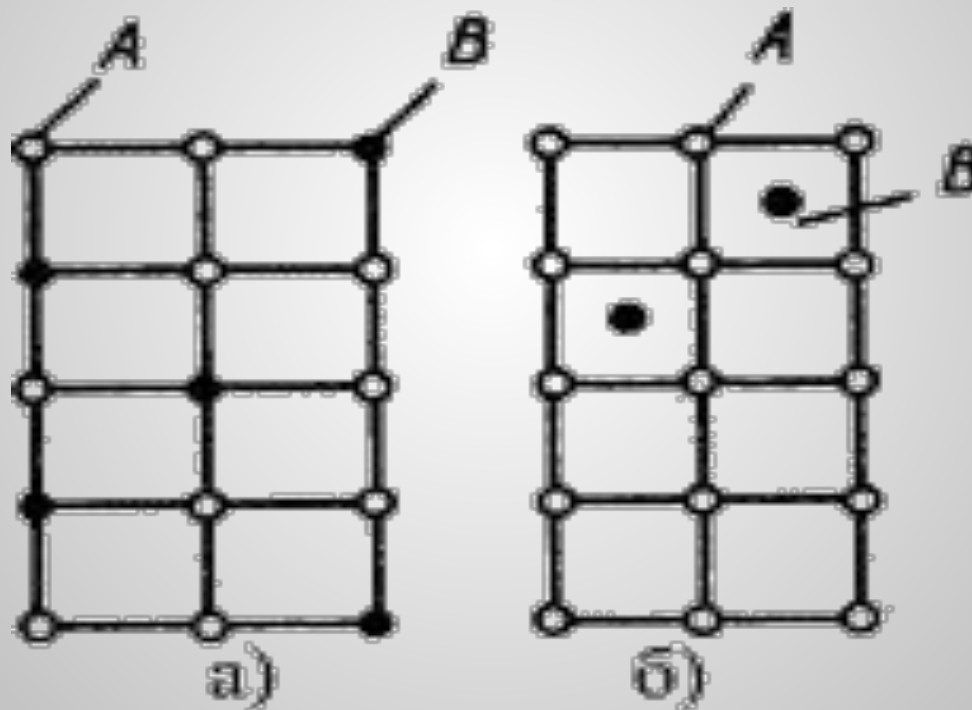


Классификация сплавов твердых растворов

- По степеням растворимости компонентов различают твердые растворы:
 - с неограниченной растворимостью компонентов;
 - с ограниченной растворимостью компонентов.
 - При неограниченной растворимости компонентов кристаллическая решетка компонента растворителя по мере увеличения концентрации растворенного компонента плавно переходит в кристаллическую решетку растворенного компонента.
 - При ограниченной растворимости компонентов возможна концентрация растворенного вещества до определенного предела.
 - При дальнейшем увеличении концентрации однородный твердый раствор распадается с образованием двухфазной смеси.

По характеру распределения атомов растворенного вещества в кристаллической решетке растворителя различают твердые растворы:

замещения;
внедрения.



Кристаллическая решетка твердых растворов **замещения (а)**, **внедрения (б)**

Твердые растворы замещения

- В растворах замещения в кристаллической решетке растворителя **часть его атомов замещена** атомами растворенного элемента (а).
- Замещение осуществляется в случайных местах, поэтому такие растворы называют **неупорядоченными твердыми растворами**.
- При образовании растворов замещения **периоды решетки изменяются** в зависимости от **разности атомных диаметров растворенного элемента и растворителя**.
- Если **атом растворенного элемента больше** атома растворителя, то **элементарные ячейки увеличиваются**, если **меньше** – **сокращаются**.
- В первом приближении **это изменение пропорционально концентрации растворенного компонента**.
- **Изменение параметров решетки** при образовании твердых растворов – важный момент, определяющий **изменение свойств**.
- **Уменьшение параметра** ведет к **большему упрочнению**, чем его **увеличение**.

Твердые растворы внедрения

- **Твердые растворы внедрения** образуются **внедрением атомов растворенного компонента** в поры кристаллической решетки растворителя.
- **Образование таких растворов возможно**, если **атомы растворенного элемента имеют малые размеры**.
- Такими являются элементы, находящиеся **в начале периодической системы Менделеева**:
 - **углерод**;
 - **водород**;
 - **азот**;
 - **бор**.
- Если **размеры атомов превышают размеры межатомных промежутков** в кристаллической решетке металла - это вызывает **искажение решетки** и **возникновение** в ней **напряжения**.
- **Концентрация таких растворов не превышает 2-2,5%**.

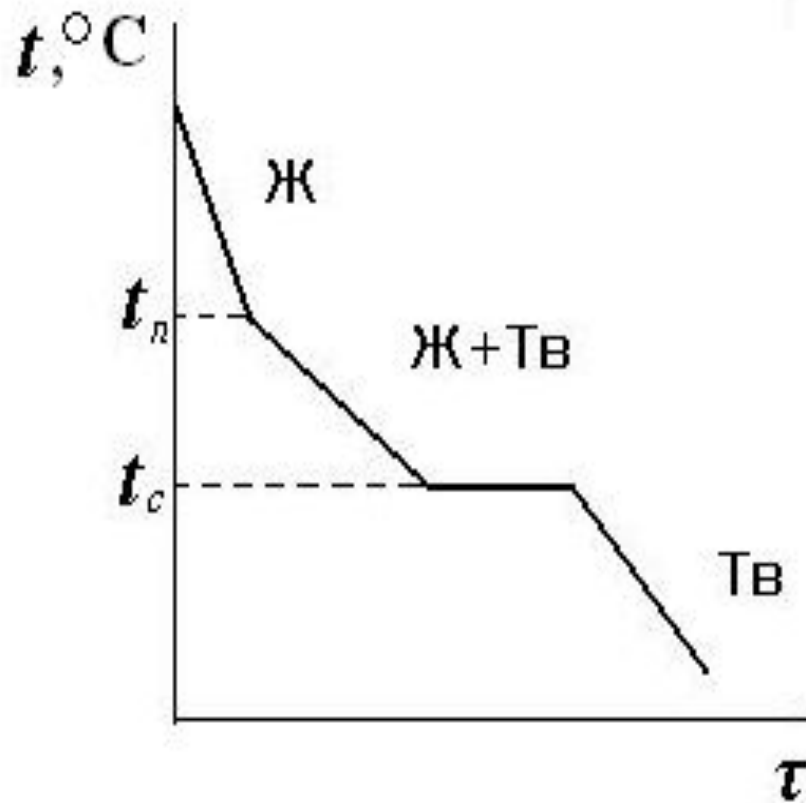
Кристаллизация сплавов

- **Кристаллизация сплавов** подчиняется тем же закономерностям, что и кристаллизация чистых металлов.
- Основным отличием является **большая роль диффузионных процессов** между жидкостью и кристаллизующейся фазой.
- Эти процессы необходимы для **перераспределения разнородных атомов**, равномерно распределенных в жидкой фазе.
- В сплавах в **твердых состояниях**, имеют место процессы **перекристаллизации**, обусловленные:
 - *аллотропическими превращениями компонентов сплава;*
 - *распадом твердых растворов;*
 - *выделением из твердых растворов вторичных фаз, когда растворимость компонентов в твердом состоянии меняется с изменением температуры.*

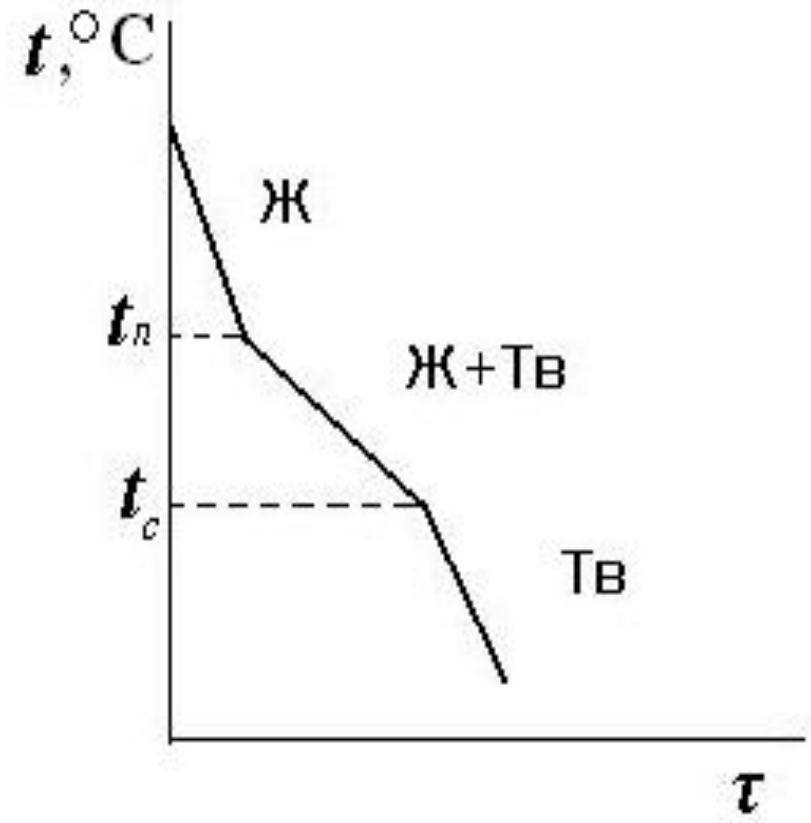
- Эти **превращения называют фазовыми превращениями** в твердом состоянии.
- **При перекристаллизации** в твердом состоянии образуются **центры кристаллизации и происходит их рост.**
- **Твердый раствор** существует не при строго определенном соотношении компонентов, а **в интервале концентраций.**
 - Обозначают **твердые растворы** строчными буквами греческого алфавита: **α , β , γ , δ** и т. д.
- **Процессы кристаллизации сплавов** изучаются по **диаграммам состояния.**
- **Диаграмма состояния** представляет собой **графическое изображение состояния любого сплава** изучаемой системы **в зависимости от концентрации и температуры.**
- Диаграммы состояния показывают **устойчивые состояния**, т. е. состояния, которые при данных условиях **обладают минимумом свободной энергии**, и поэтому ее также называют **диаграммой равновесия**, так как она показывает, какие **при данных условиях** существуют **равновесные фазы.**

- **Построение диаграмм состояния** наиболее часто осуществляется при **помощи термического анализа**.
- В результате получают **серию кривых охлаждения**, на которых **при температурах фазовых превращений наблюдаются точки перегиба и температурные остановки**.
- Диаграмма состояния строится **экспериментально** по кривым охлаждения сплавов.

Кривые охлаждения сплавов



а



б

Рис. 8 Кривые охлаждения сплавов:
а-механической смеси, б-твердого раствора

Пояснения к кривым охлаждения

- В отличие от чистых металлов **сплавы кристаллизуются** не при постоянной температуре, а **в интервале температур**.
- **Температуры**, соответствующие **фазовым превращениям**, называют **критическими точками**.
- **На кривых охлаждения** сплавов имеется **две критические точки**:
 - в **верхней** критической точке, называемой **точкой ликвидус** ($t_{л}$), **начинается кристаллизация**;
 - в **нижней** критической точке, которая называется **точкой солидус** ($t_{с}$), **кристаллизация завершается**.
- Кривая охлаждения механической смеси (рис. 8, а) **отличается** от кривой охлаждения твердого раствора (рис. 8, б) **наличием горизонтального участка**.
- На этом участке происходит **кристаллизация эвтектики**.
- *Эвтектикой называют механическую смесь двух фаз, одновременно кристаллизовавшихся из жидкого сплава.*

- **Эвтектика** имеет определенный химический состав и **образуется при постоянной температуре.**
- Диаграмма состояния показывает **строение сплава в зависимости от соотношения компонентов и от температуры.**
- **Температуры**, соответствующие фазовым превращениям, называют **критическими точками.**
- **Линии диаграммы состояния:**
- **линия**, на которой при охлаждении **начинается кристаллизация сплава**, называется **линией ликвидус**;
- **линия**, на которой **кристаллизация завершается** — **линией солидус**.
- **Все типы сплавов имеют разные виды диаграмм состояния.**

Диаграмма состояния сплавов, образующих механические смеси

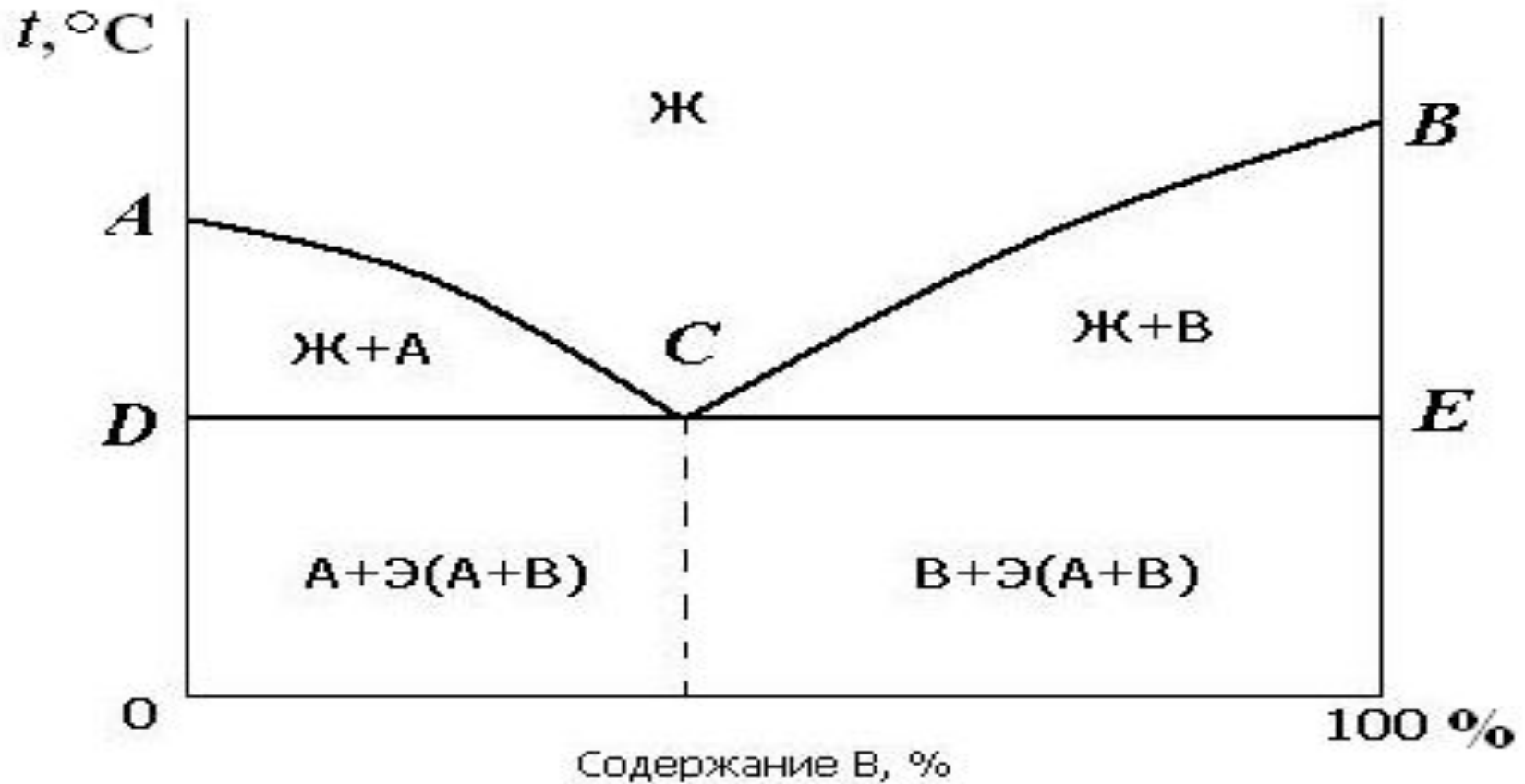


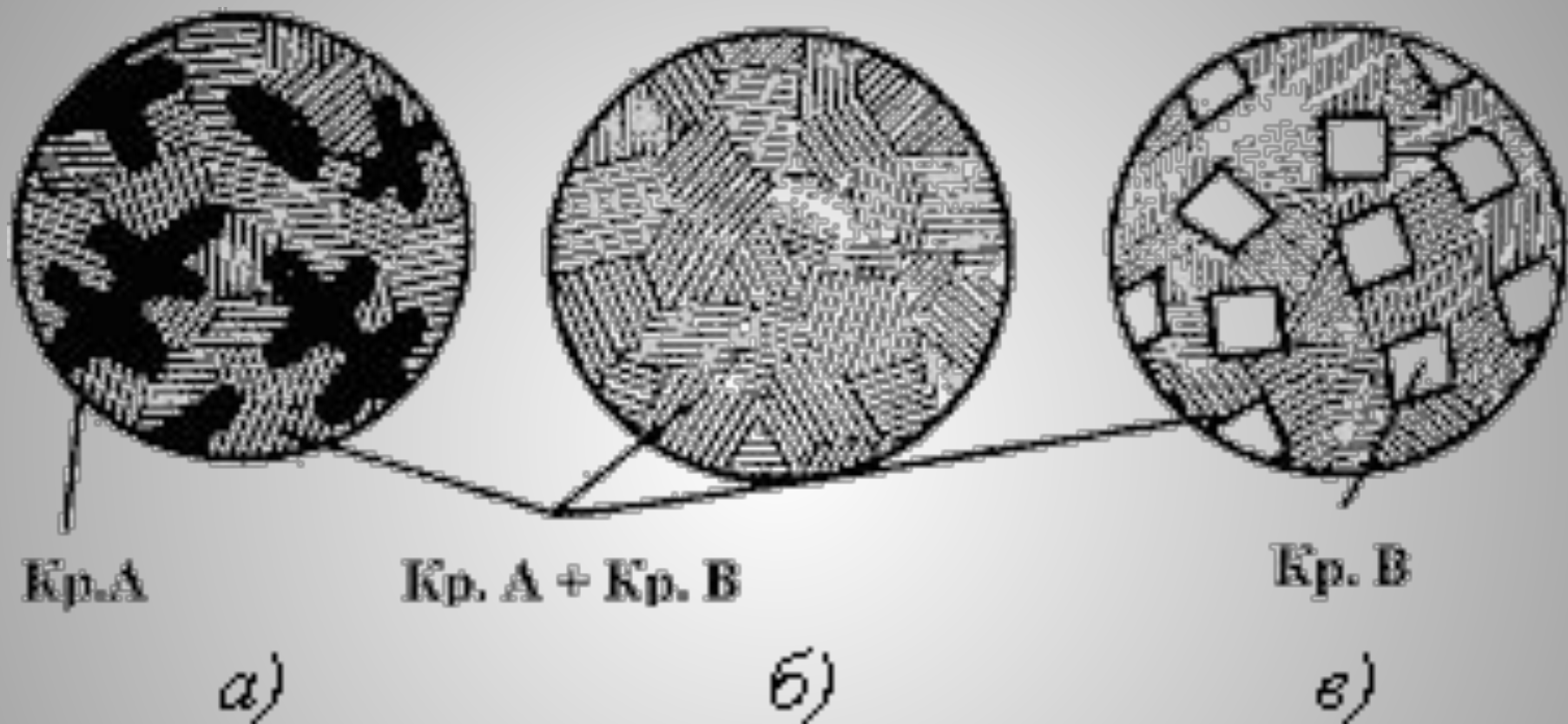
Рис. 9 Диаграмма состояния сплавов, образующих механические смеси.

Пояснения к диаграмме состояния

- Диаграмма состояния сплавов, образующих **механические смеси** (рис. 9), характеризуется **отсутствием растворения компонентов в твердом состоянии.**
- Поэтому в этом сплаве возможно образование трех фаз:
 - *жидкого сплава Ж;*
 - *кристаллов А;*
 - *кристаллов В.*
- **Линия АСВ** диаграммы является **линией ликвидус:**
- **на участке АС** при охлаждении **начинается кристаллизация компонента А;**
- **на участке СВ** начинается кристаллизация **компонента В.**

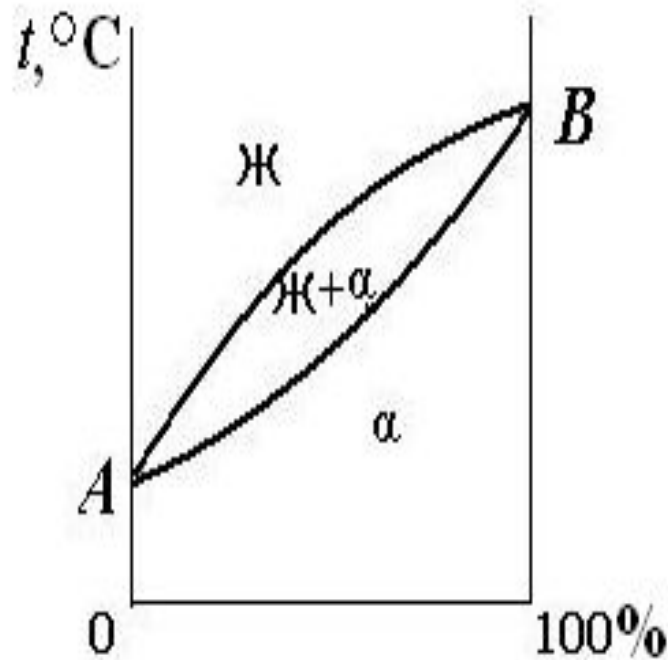
- **Линия DCE** является **линией солидус**, на ней завершается кристаллизация компонента **A** или **B** и при **постоянной температуре** происходит кристаллизация эвтектики **Э**.
- **Сплавы**, концентрация которых **соответствует точке C** диаграммы называются **эвтектическими**, их структура представляет собой чистую эвтектику.
- **Эвтектикой называют механическую смесь двух фаз, одновременно кристаллизовавшихся из жидкого сплава.**
- **Сплавы**, расположенные на диаграмме **левее эвтектического**, называются **доэвтектическими**, их структура состоит из зерен **A** и эвтектики.
- **Сплавы**, которые на диаграмме расположены **правее эвтектического**, называются **заэвтектическими**, их структура представляет собой зерна **B**, окруженные эвтектикой.

Схема микроструктур сплавов

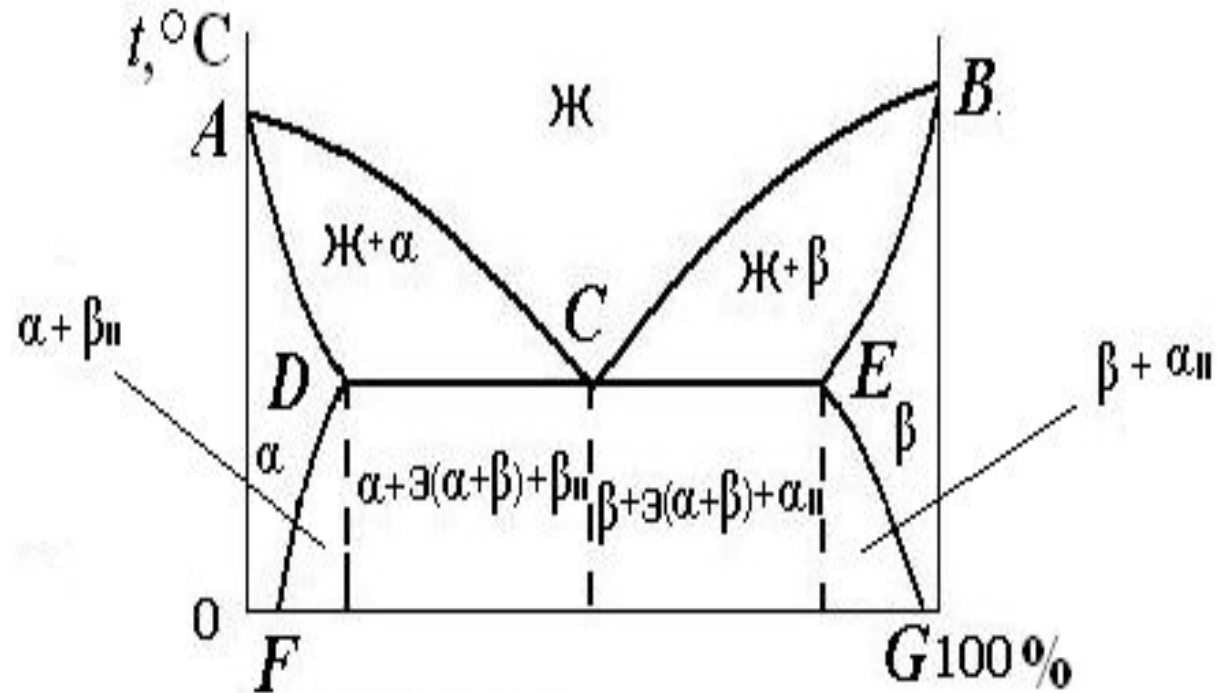


а – доэвтектического, б – эвтектического, в – заэвтектического

Диаграммы состояния твердых растворов



Содержание В, %
Рис. 10 Диаграмма состояния сплавов с неограниченной растворимостью.



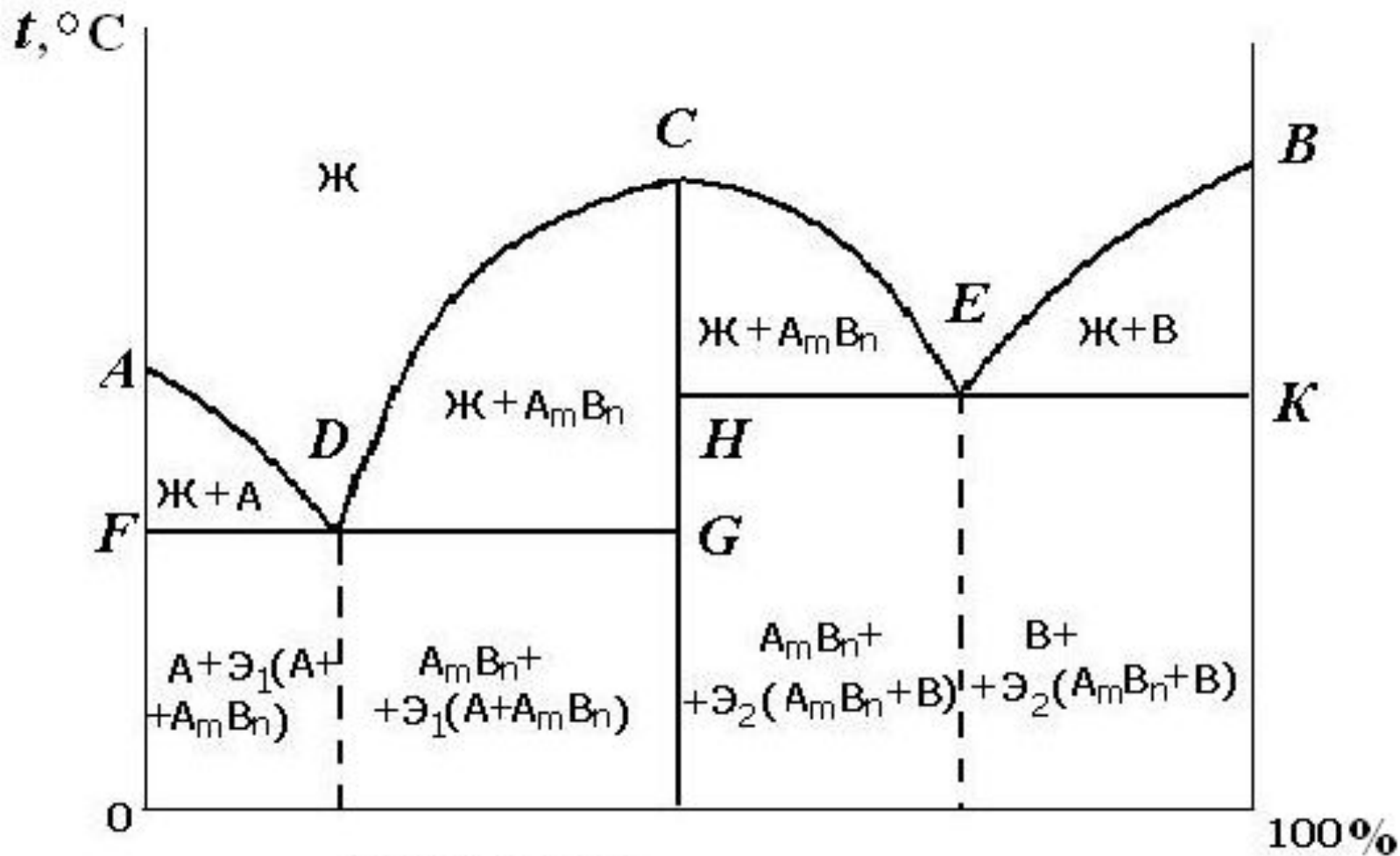
Содержание В, %
Рис. 11 Диаграмма состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии.

Пояснения к диаграмме

- Диаграмма состояния сплавов **с неограниченной растворимостью компонентов** в твердом состоянии изображена на рис. 10.
- Для этого сплава возможно **образование двух фаз: жидкого сплава и твердого раствора α** .
- **На диаграмме** имеется всего **две линии**, **верхняя** является линией ликвидус, а **нижняя** — линией солидус.
- Диаграмма состояния **сплавов с ограниченной растворимостью компонентов** в твердом состоянии показана на рис 11.
- В этом сплаве могут существовать **три фазы**:
 - *жидкий сплав;*
 - *твердый раствор α компонента В в компоненте А;*
 - *твердый раствор β компонента А в компоненте В.*

- Линия ACB является линией ликвидус, линия $ADCEB$ — линией солидус.
- Здесь также образуется **эвтектика**, имеются сплавы :
 - *эвтектический*;
 - *доэвтектический*;
 - *заэвтектический*.
- По линиям FD и EG происходит выделение **вторичных кристаллов α_{II} и β_{II}** (вследствие уменьшения растворимости с понижением температуры).
- Процесс выделения вторичных кристаллов из твердой фазы называется **вторичной кристаллизацией**.

Диаграмма состояния сплавов, образующих химическое соединение



Содержание В, %

Рис. 12 Диаграмма состояния сплавов образующих химическое соединение.

Пояснения к диаграмме

- Диаграмма состояния сплавов, образующих химическое соединение (рис. 12) характеризуется **наличием вертикальной линии**, соответствующей соотношением компонентов в **химическом соединении $A_m B_n$** .
- Эта линия делит диаграмму на две части, которые можно рассматривать как **самостоятельные диаграммы сплавов**, образуемых **одним из компонентов с химическим соединением**.
- На рисунке изображена диаграмма **для случая**, когда **каждый из компонентов образует с химическим соединением механическую смесь**.

Сплавы железа с углеродом

• Характеристики железа

- Твердость - *НВ 80*;
- Температура плавления — *1539 °С*;
- Плотность *7,83 г/см³*.
- С углеродом железо образует **химическое соединение** и **твердые растворы**.
- **Цементит** — это **химическое соединение железа с углеродом** (карбид железа) *Fe₃C*.

• Характеристики цементита

- Содержание углерода - *6,67 %* (по массе).
- Сложная ромбическая кристаллическая решетка.
- Высокая твердость - *НВ 800*;
- Низкая пластичность и хрупкость.

- **Ферритом** называется **твердый раствор углерода в α - железе**.
 - **Содержание углерода** в феррите очень невелико — **максимальное 0,02% при температуре 727 °C**.
 - Из-за малого содержания углерода **свойства феррита совпадают со свойствами железа (низкая твердость и высокая пластичность)**.
 - **Твердый раствор углерода в высокотемпературной модификации Fe_α (т. е. в Fe_δ) называют δ - ферритом или высокотемпературным ферритом.**
 - **Аустенит** — это **твердый раствор углерода в γ - железе**.
 - **Свойства аустенита**
- **Максимальное содержание углерода - 2,14 % (при температуре 1147 °C);**
- **Твердость - *НВ 220*.**

- **Перлит** — это механическая смесь феррита с цементитом.

- **Характеристики перлита**

- **Содержание углерода - 0,8% ;**
- **Образуется из аустенита при температуре 727°C.**
- **Пластинчатое строение, т.е. его зерна состоят из чередующихся пластинок феррита и цементита;**
- **Является эвтектоидом - механической смесью двух фаз, образующейся из твердого раствора (а не из жидкого сплава, как эвтектика).**
- **Ледебурит** - это эвтектическая смесь аустенита с цементитом.
- Ледебурит содержит **4,3 % углерода**, образуется **из жидкого сплава при температуре 1147 °C.**

- **Фаза цементита имеет пять структурных форм:**
 - цементит первичный, образующийся из жидкого сплава;
 - цементит вторичный, образующийся из аустенита;
 - цементит третичный, образующийся из феррита;
 - цементит ледебурита;
 - цементит перлита.

Диаграмма Fe-Fe₃C

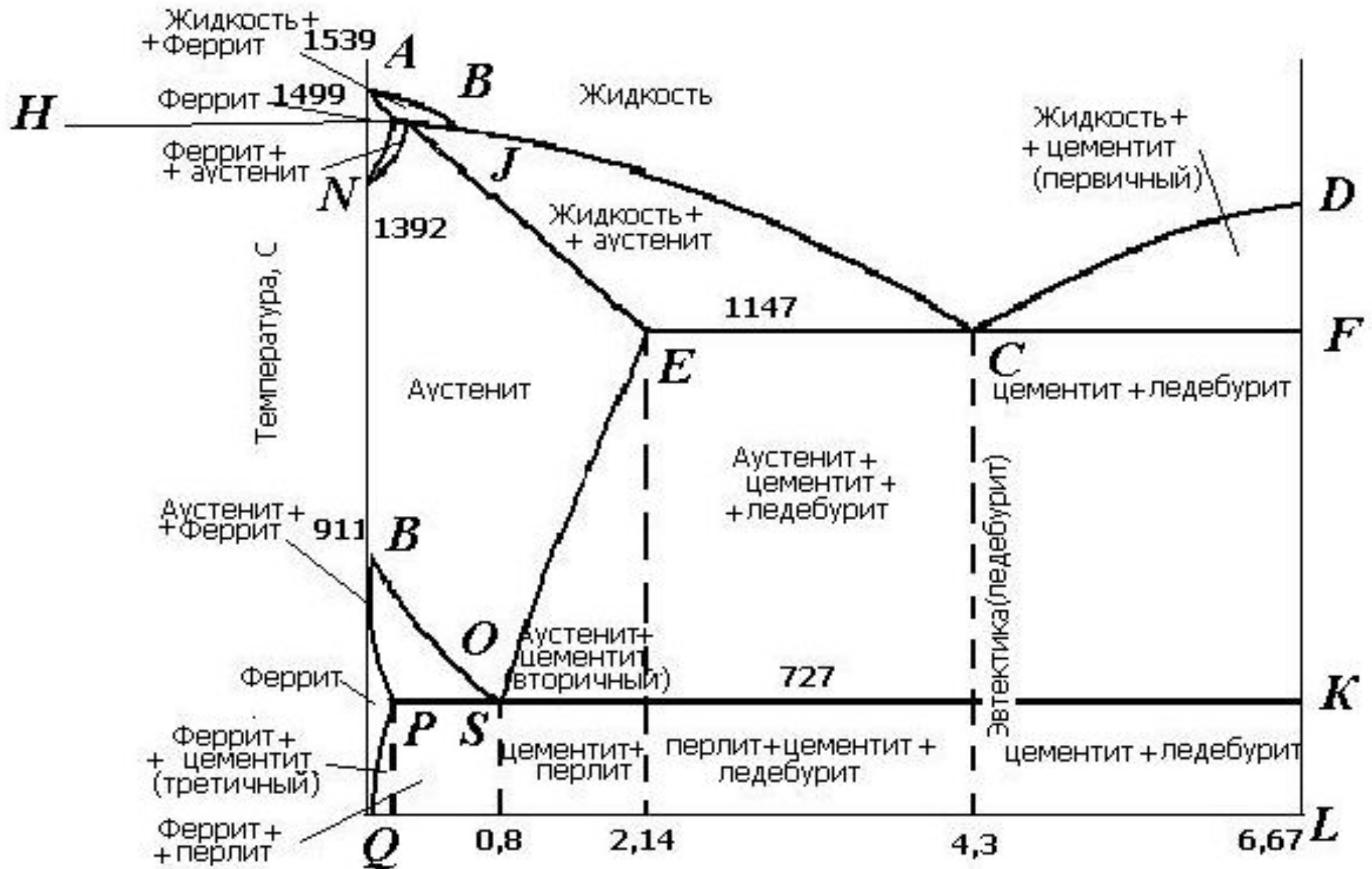


Рис. 13. Диаграмма состояния сплавов железа с цементитом.

Пояснения к диаграмме

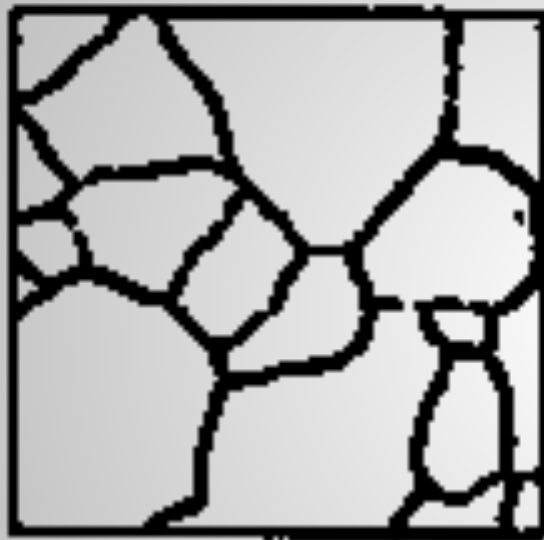
- На горизонтальной оси концентраций отложено содержание углерода от 0 до 6,67 %.
- **Левая вертикальная ось** соответствует **100 % содержанию железа**.
- На ней отложены температура плавления железа и температуры его полиморфных превращений.
- **Правая вертикальная ось (6,67 % углерода)** соответствует **100% содержанию цементита**.
- **Линия *АВСД*** диаграммы является линией **ликвидус**.
- На ней начинается кристаллизация:
 - **на участке *АВ* — феррита;**
 - **на участке *ВС* — аустенита;**
 - **на участке *СД* — первичного цементита.**
- **Линия *АНЕСФ*** является линией **солидус** диаграммы.

Железоуглеродистые сплавы

- Железоуглеродистые сплавы в зависимости от **содержания углерода** делятся на:
 - **техническое железо** (до **0,02 % C**);
 - **сталь** (от **0,02** до **2,14 % C**);
 - **чугун** (от **2,14** до **6,67 % C**).
- **Сталь** называется при содержании **углерода**:
 - до **0,8 % C** - доэвтектоидной;
 - **0,8 % C** — эвтектоидной;
 - **свыше 0,8 % C** — заэвтектоидной.
- **Чугун** называется при содержании **углерода**:
 - от **2,14** до **4,3 % C** - доэвтекктическим;
 - **ровно 4,3% C** — эвтекктическим;
 - от **4,3** до **6,67 % C** — заэвтекктическим.

Структура железоуглеродистых сталей

Структура технического железа представляет собой зерна **феррита** или **феррит с** небольшим количеством **третичного цементита**.



а)



б)

Микроструктуры технического железа:

а – содержание углерода менее 0,006%;

б – содержание углерода 0,006...0,02 %

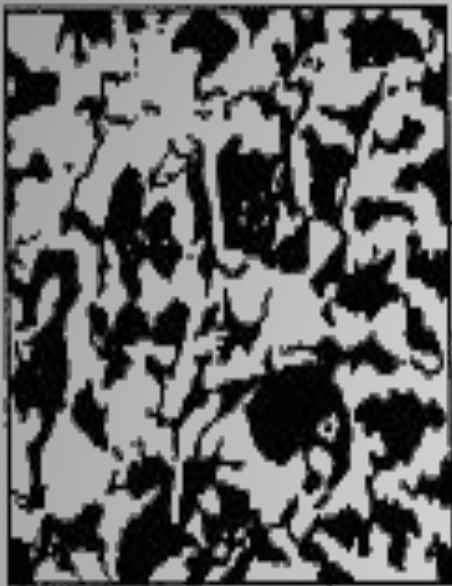
Углеродистые стали

- Обязательной структурной **составляющей стали** является **перлит**:
 - структура **доэвтектоидной стали**, состоит из равномерно распределенных **зерен феррита и перлита (Ф+П)** - содержание углерода $0,02\% < C < 0,8$;
 - **эвтектоидная сталь** состоит только из **перлита (П)** - содержание углерода **$C=0,8\%$** (перлит может быть **пластинчатым** или **зернистым**).
 - структура **заэвтектоидной стали** представляет собой **зерна перлита**, окруженные сплошной или прерывистой сеткой **вторичного цементита (П+Ц₂)** - содержание углерода $0,8\% < C < 2,14\%$.

По микроструктуре сплавов можно приблизительно определить количество углерода в составе сплава, учитывая следующее: **количество углерода в перлите составляет $0,8\%$** , в **цементите – $6,67\%$** .

Ввиду **малой растворимости углерода в феррите**, принимается, что в нем **углерода нет**.

Микроструктура сталей



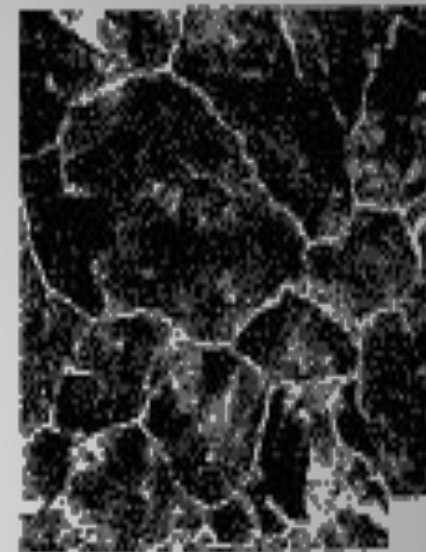
а)



б)



в)



г)

а – доэвтектоидная сталь ; б – эвтектоидная сталь (пластинчатый перлит); в – эвтектоидная сталь (зернистый перлит); г – заэвтектоидная сталь

Чугуны

- **Сплавы железа с углеродом**, содержащие углерода **более 2,14 % (до 6,67 %)**, заканчивающие кристаллизацию образованием эвтектики (**ледебурита**), называют **чугунами**.
- Наличие **легкоплавкого ледебурита** в структуре чугунов **повышает их литейные свойства**.
- **Чугуны**, кристаллизующиеся в соответствии с диаграммой состояния железо – цементит, отличаются **высокой хрупкостью**.
- **Цвет их излома – серебристо-белый**.
- Такие чугуны называются **белыми чугунами**.
- Для чугуна характерно наличие **ледебурита** в структуре:
 - структура **доэвтектического чугуна** состоит из **перлита, вторичного цементита и ледебурита (П+Л+Ц2)** – содержание углерода $2,14\% < C < 4,3\%$;
 - **эвтектического** — из **ледебурита (Л)** - содержание углерода $C=4,3\%$;
 - **заэвтектического** — из **ледебурита и первичного цементита (Л+Ц1)** - содержание углерода $4,3\% < C < 6,67\%$.

Микроструктуры белых чугунов



а)



б)



в)

а – доэвтектический белый чугун; б – эвтектический белый чугун (Л); в – заэвтектический белый чугун .