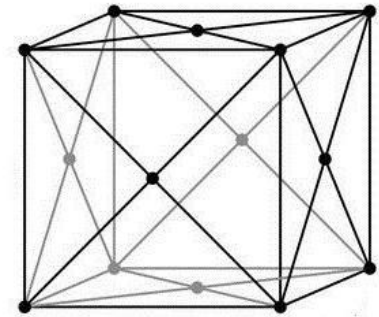
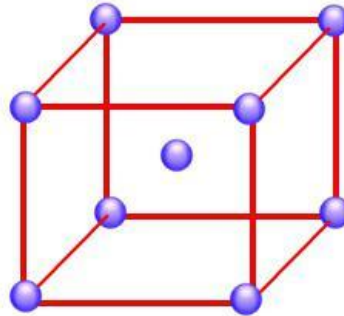
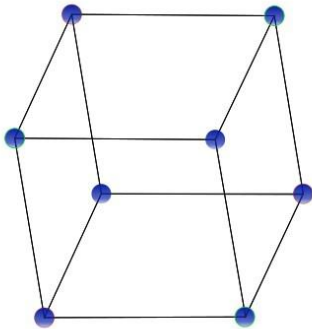


# Свойства металлов и сплавов

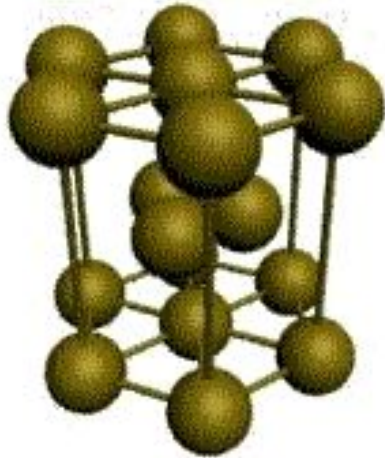
- План лекции
- Виды кристаллических решеток металлов
- Дефекты кристаллической решетки металлов
- Сущность полиморфизма
- Виды сплавов
- Правило фаз Гиббса

# Виды кристаллических решеток металлов

- По **способу построения связей** кристаллические решетки могут быть простыми, базоцентрированными, гранецентрированными и объемно-центрированными.
- Если частицы вещества расположены лишь в углах параллелепипеда, такая решетка называется **простой**
- Кристаллические решетки:
  - элементарная (простая)
  - объемно-центрированная
  - гранецентрированная



- **Объемно-центрированный** тип решетки в определенных диапазонах температур имеют железо, хром, ванадий, вольфрам, молибден и др. металлы.
- **Гранецентрированный тип** решетки имеют железо, алюминий, медь, никель, свинец и др. металлы.
- Третьей распространенной разновидностью плотноупакованных решеток является **гексагональная плотноупакованная**. Такую решетку имеют магний, цинк, кадмий, бериллий, титан и др.



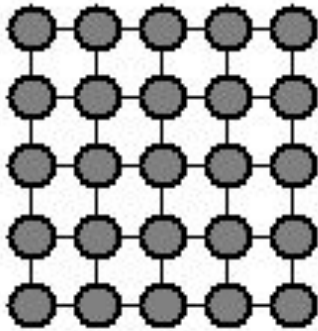
# Дефекты кристаллической решетки металлов

- В **реальности** кристаллическое строение металлов отличается от идеального тем, что содержит **множество дефектов** или структурных несовершенств, обусловленных отсутствием атомов (ионов) в узлах или нарушением **правильного расположения** их в кристаллической решетке.
- По **геометрическим** признакам дефекты кристаллического строения подразделяются на **точечные, линейные, поверхностные и объемные**.
- К **точечным дефектам** структуры относятся вакансии, т. е. отсутствие атомов (ионов) в узлах решетки (дефект Шоттки), и междузельные атомы, расположенные внутри элементарной ячейки (дефект Френкеля).
- Образованию вакансий способствует, например, процесс легирования, когда «примесный» атом располагается либо в узле решетки, либо в междоузлии.

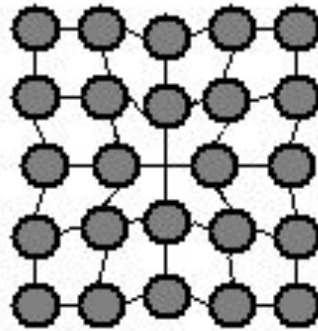
# • Точечные дефекты

- К точечными дефектам относятся дефекты связанные с единичными атомами.
- Выделяют: вакансии, атомы замещения и атомы внедрения.

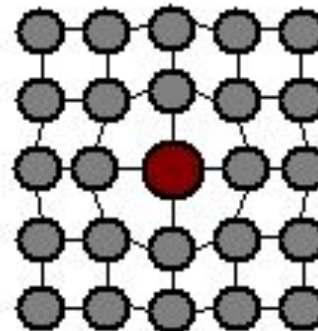
- идеальный кристалл
- вакансия (дефект Шоттки)
- замещение (дефект Френкеля)
- внедрение



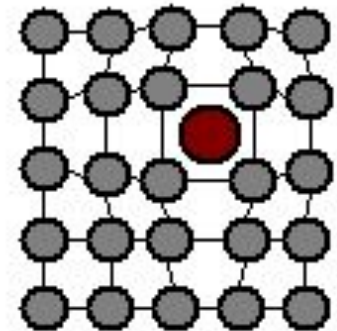
а



б



в



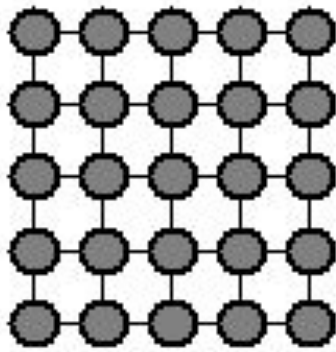
г

- **Линейные дефекты**

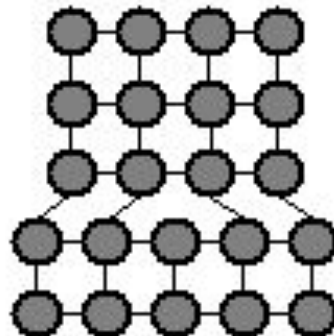
- **Дислокация** – это линейные дефекты кристаллического строения, представляющие собой линии, вдоль и вблизи которых нарушено правильное расположение атомных плоскостей, характерное для кристалла .

- Простейшие видами дислокаций являются **краевые и винтовые**.

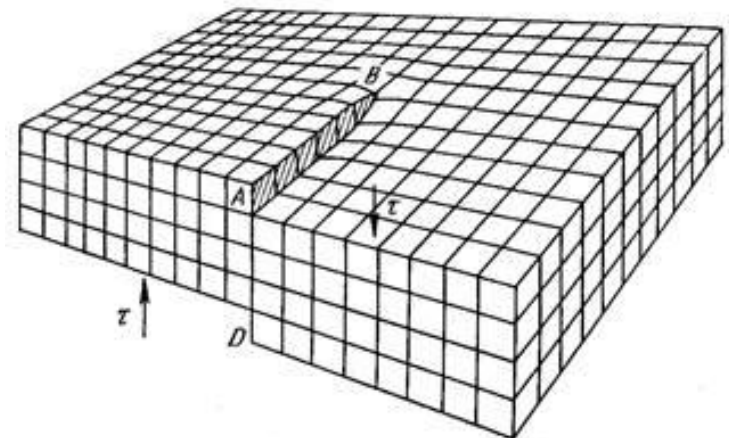
- *идеальный кристалл    краевая дислокация    винтовая дислокация*



**а**



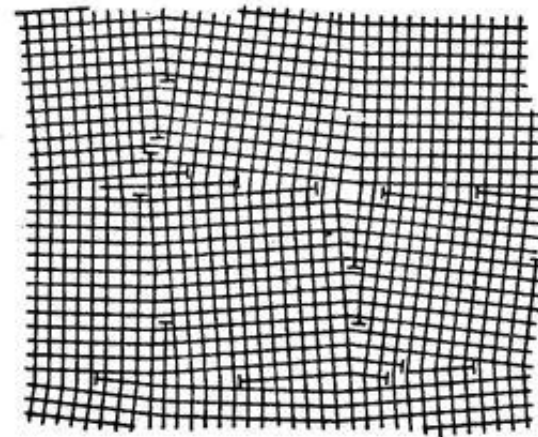
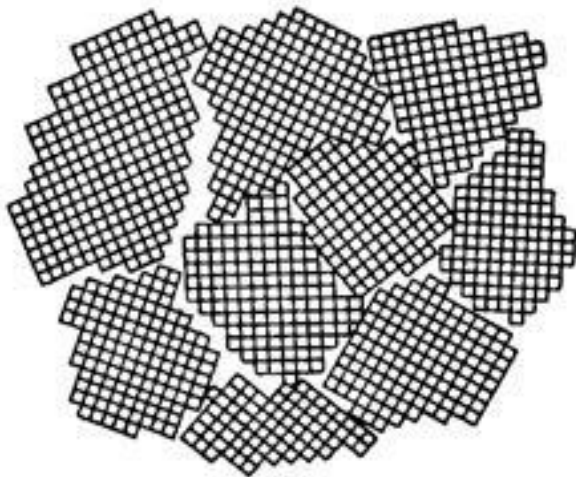
**б**



## • Двухмерные дефекты

- К дефектам этого типа можно отнести зоны двойникования, границы зерен и другие.
- Металлы, используемые в технике, **состоят из большого числа кристаллов** неправильной формы, называемых зернами или кристаллитами.
- По **границам между зернами** металла нарушается правильность строения кристаллической решетки. Обычно зерна повернуты **произвольно**.
- **Разориентация** между соседними зернами составляет от нескольких градусов до десятков градусов (обычно более 50 ).
- Граница между зернами называется — **большеугловой**.

- Каждое **зерно металла** состоит из отдельных блоков, субзерен.
- **Разориентировка** между соседними субзернами составляет от нескольких секунд до нескольких минут (малоугловые границы).
- В пределах каждого субзерна (блока) решетка **почти идеальна**.
- Дефект «границы зерен»                      дефект «границы субзерен»





- **Границы между отдельными кристаллитами** (зернами) представляют собой переходную область шириной в **5 – 10** атомных размеров, в которой решетка одного кристалла, имеющего определенную кристаллографическую ориентацию, переходит в решетку другого кристалла, имеющего иное кристаллографическое направление.
- Поэтому **на границе зерна** атомы имеют менее правильное расположение, чем в объеме зерна.
- К **объемным (трехмерным) дефектам** относят такие, которые имеют размеры в трех измерениях: неметаллические включения, царапины, макроскопические трещины, поры и т. д.



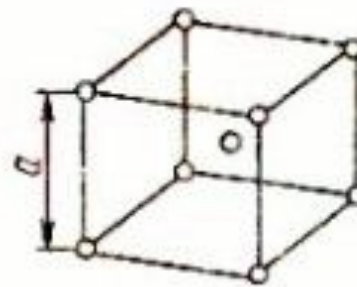
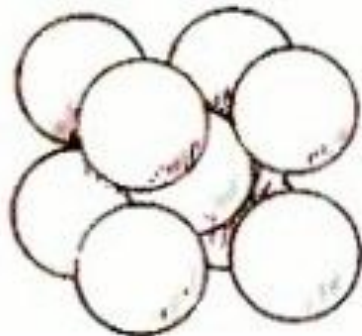
# Сущность полиморфизма

- Многие металлы в зависимости от температуры могут существовать в разных кристаллических формах или, как их называют, в разных **полиморфных модификациях**.
- В результате полиморфного превращения атомы кристаллического тела, **имеющие решетку одного типа**, перестраиваются таким образом, что образуется кристаллическая решетка **другого типа**.
- Полиморфную модификацию, устойчивую при более низкой температуре, для большинства металлов принято обозначать  $\alpha$ , при более высокой –  $\beta$ , затем  $\gamma$  и т.д.

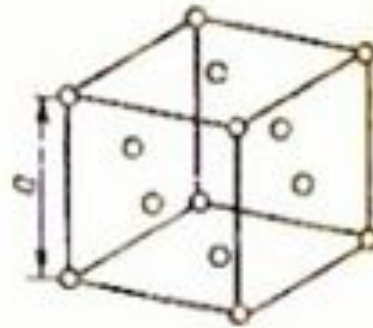
- При полиморфном превращении кристаллы (зерна) новой полиморфной формы растут в результате неупорядоченных, взаимно связанных переходов атомов через границу фаз.
- Отрываясь от решетки исходной фазы (например,  $\beta$ ), атомы по одиночке или группами присоединяются к решетке новой фазы ( $\alpha$ ), и в результате этого граница зерна  $\alpha$ -модификации передвигается в сторону зерна  $\beta$ -модификации, «поедая» исходную фазу.
- Зародыши новой модификации наиболее часто возникают на границах зерен исходных кристаллитов.
- Вновь образующиеся кристаллы закономерно ориентированы по отношению к кристаллам исходной модификации.

# Полиморфизм железа

- Используя явление полиморфизма, можно упрочнять и разупрочнять сплавы при помощи термической обработки.
- Особенностью железа является тот факт, что при разных температурах оно имеет различную форму кристаллической решетки (полиморфизм).
- При температуре ниже **911 °С** атомы располагаются в форме **объемноцентрированной** кубической решетки (ОЦК).



- При нагревании выше  $911\text{ }^{\circ}\text{C}$  становится энергетически выгодной другая конфигурация кристаллической решетки — **ранецентрированная кубическая** (ГЦК).
- Благодаря этому в ГЦК-форме железо обретает способность к **повышенному растворению** в себе других элементов, в том числе углерода, атом которого относительно невелик.



- При дальнейшем увеличении температуры порядок атомов вновь изменяется.
- **Выше 1 392 °С** и до **точки плавления (1539 °С)** железо опять представлено в качестве последовательности ОЦК - элементов.
- **Практическое применение:**
- - сталь при получении, охлаждаясь, проходит все эти полиморфические превращения, которые накладывают на ее конечные свойства отпечаток в зависимости от **состава исходного расплава** и от **режима его затвердевания**.

# Виды сплавов

- **Общие физические свойства**
- **По способу** изготовления сплавов различают литые и порошковые сплавы.
- **Литые сплавы** получают кристаллизацией расплава смешанных компонентов.
- **Порошковые** — прессованием смеси порошков с последующим спеканием при высокой температуре.
- Компонентами порошкового сплава могут быть не только порошки простых веществ, но и порошки химических соединений. Например, основными компонентами твёрдых сплавов являются карбиды вольфрама или титана.
- **По способу получения** заготовки (изделия) различают литейные (например, чугуны, силумины), деформируемые (например, стали) и порошковые сплавы.

- - **В твердом агрегатном** состоянии сплав может быть гомогенным (однородным, однофазным — состоит из кристаллитов одного типа) и гетерогенным (неоднородным, многофазным).
- **Твёрдый раствор** является основой сплава.
- Фазовый состав **гетерогенного сплава** зависит от его химического состава. В сплаве могут присутствовать: твердые растворы внедрения, твердые растворы замещения, химических соединений и кристаллиты простых веществ.
- **Основные классификационные сведения.**
- **Стали.** Все соединения железа, содержащие до **2%** углерода, называются сталями. Если в составе имеется хром, ванадий или молибден, то их называют легированными.
- **Чугун.** Если в сплаве железа содержится более **3-4%** углерода, то он называется чугуном. Кроме того, его важным элементом является кремний.



- **Медные сплавы.** Чаще всего под этим термином понимаются разные сорта латуни. Это такие сплавы меди, в которых содержится **от 5 до 45%** цинка. Если его содержание колеблется в пределах **5 - 20%**, то это красная латунь (томпак). Если же в материале содержится уже **20 – 36% Zn**, то это – желтая латунь.
- **Сплавы свинца.** Наиболее известен в настоящее время обычный припой, который изготавливается из одной части свинца и двух частей олова.
- **Сплавы на основе алюминия.** Сплавы алюминия делятся сразу на три большие группы:
  - - **литейные (Al – Si)**;
  - - **сплавы, предназначенные для литья под давлением (Al – Mg)**;
  - - **соединения повышенной прочности, самозакаливающиеся (Al – Cu)**.
- **Сплавы магния.**

# Правило фаз Гиббса

- **Фаза** — это однородная часть системы или совокупность частей, имеющих одинаковый состав, строение и физико-химические свойства.
- **Разные фазы** всегда отделены друг от друга поверхностями раздела (межфазными поверхностями). Химический состав каждой фазы в сплаве можно выразить через концентрации компонентов.
- **Состояние системы** определяется температурой, давлением, концентрацией компонентов в разных фазах.
- При изменении этих факторов система переходит из одного состояния в другое, при этом **совершаются фазовые превращения**, при которых появляются новые фазы или исчезают старые.
- **Возможность** изменения равновесного состояния системы определяется **вариантностью**.

- **Число факторов**, которые могут изменяться независимо друг от друга без нарушения равновесия системы, называется **числом степеней свободы  $f$** .
- **Правило Гиббса** - вариантность системы зависит от числа компонентов, числа равновесных фаз и количества внешних переменных.

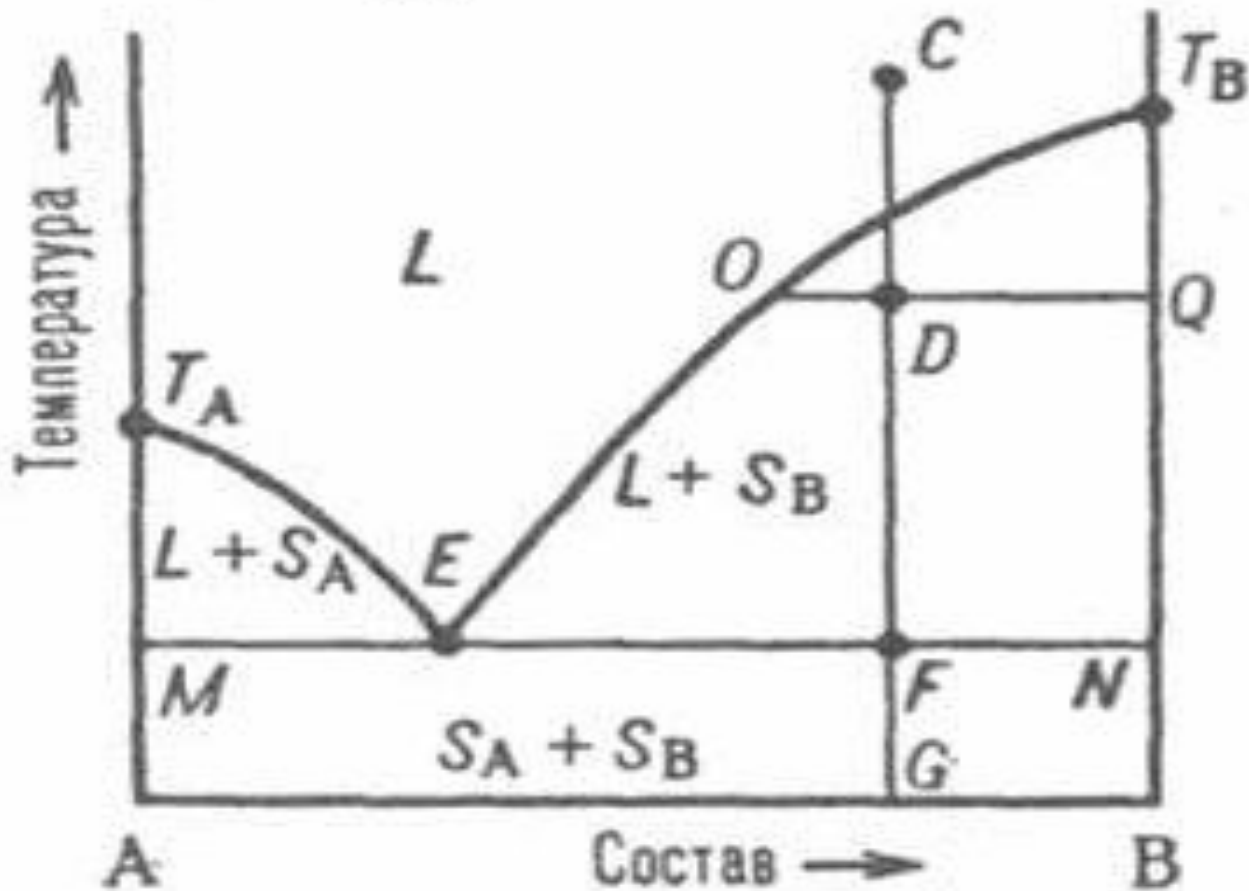
$$f = K - \Phi + 2,$$

- где  **$K$**  - число компонентов в системе;  **$\Phi$**  – число фаз в системе; **2** - число переменных, воздействующих на систему.
- Если  **$f = 0$**  (система называется **нонвариантной**), то все независимые переменные, определяющие состояние системы, имеют строго фиксированные (единственные) значения, которые нельзя изменить, не нарушив фазового равновесия системы.
- **Наличие одной, двух или большего** числа степеней свободы позволяет независимо изменять одну, две или большее число переменных без изменения числа фаз, находящихся в равновесии.

# Фазовые равновесия в двухкомпонентных системах

- Диаграмму состояния можно изобразить на плоскости: на вертикальной оси откладывается температура, на горизонтальной – масс. доля, % .
- Один конец горизонтальной оси соответствует 100 % одного компонента, другой – 100 % второго компонента. Промежуточные точки на горизонтальной оси выражают любые соотношения двух компонентов.
- На вертикальные оси, соответствующие содержанию 100 % компонентов, наносят их температуры плавления  $T_A$  и  $T_B$ .

# Диаграмма плавкости системы, не образующей твердых растворов

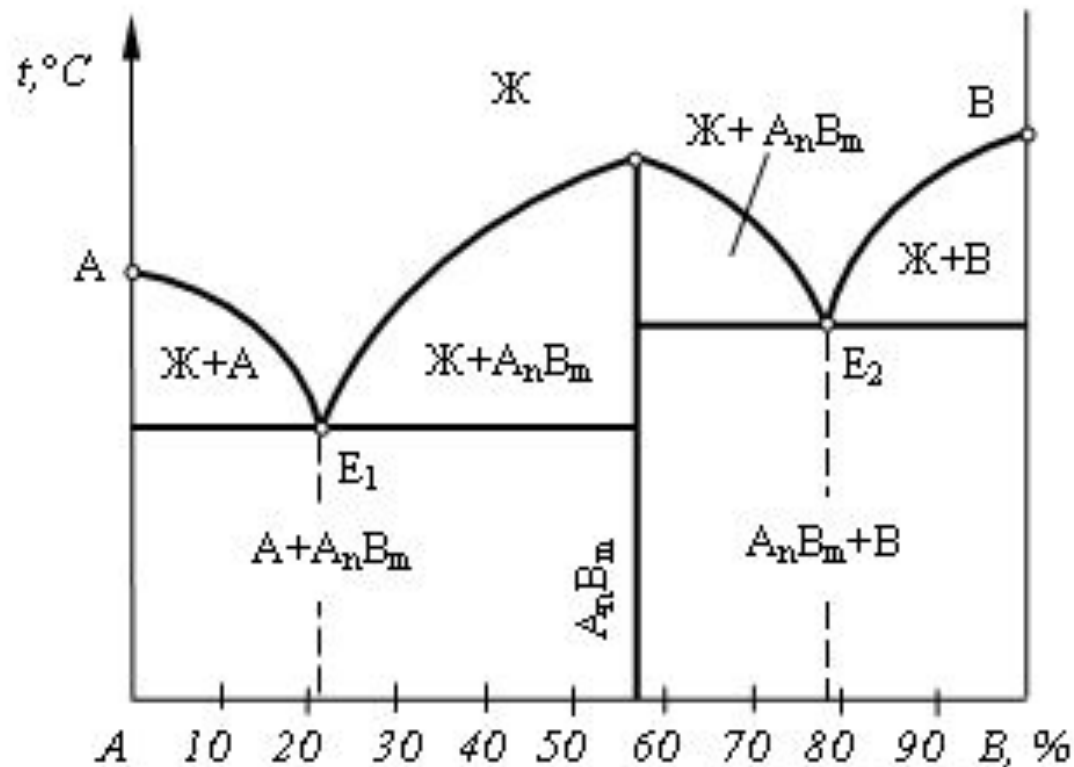


- Если к чистому веществу **A** добавлять возрастающие количества вещества **B**, то в соответствии с законом Рауля будет наблюдаться прогрессирующее понижение плавления смесей. Это же будет происходить и при добавлении вещества **A** к веществу **B**.
- На диаграмме **L** - область существования системы в виде жидкости (расплава). Линия **TA-E-TB** называется «ликвидус», ниже ликвидуса вещество находится в состоянии (**L+SA**) и (**L+SB**) соответственно, т.е. область существования жидкой и твердой фаз одновременно.
- Кривые **л и к в и д у с а**, показывают, при какой температуре и при каком составе расплава начинается кристаллизация компонентов **A** и **B** в зависимости от состава исходного расплава.
- Линия **MEFN** называется линией «солидус», ниже которой система находится в твердом состоянии, т.е. в виде механической смеси кристаллов вещества **A** и **B** (**SA+SB**). Точка **E** на диаграмме называется точкой эвтектики.
- **Эвтектикой** называется механическая смесь двух и более видов кристаллов, кристаллизующихся одновременно.

- Реакция, когда жидкость **реагирует с ранее выпавшими кристаллами** и образует новый вид кристаллов называется **перитектической**.
- **Любая точка на линии ликвидуса** называется **фигуративной точкой** и отражает состояние системы при изменении концентрации.
- Если фигуративная точка исходной смеси располагается выше линии ликвидуса, система представляет собой одну фазу – расплав, если фигуративная точка располагается в полях **ТА-Е-М** и **ТВ –Е- N**, то система состоит из одной твердой (**А** или **В** соответственно) и жидкой фаз; **ниже линии солидуса** система состоит из двух твердых фаз – кристаллов **А** и кристаллов **В**. Кристаллы компонентов **А** и **В**, выпавшие первоначально в полях **ТА-Е-М** и **ТВ –Е- N**, имеют более крупные размеры, чем кристаллы **А** и **В**, выпавшие в эвтектике.
- **Диаграмма состояния двухкомпонентных систем** позволяет определить не только температуры фазовых превращений и составы соответствующих фаз, но и их относительный состав при любой температуре.

## Диаграмма состояния для сплавов, образующих химические соединения

- Данная диаграмма образуется, когда сплавливаемые компоненты образуют устойчивое химическое соединение  $A_nB_m$ , не диссоциирующее при нагреве вплоть до температуры плавления.

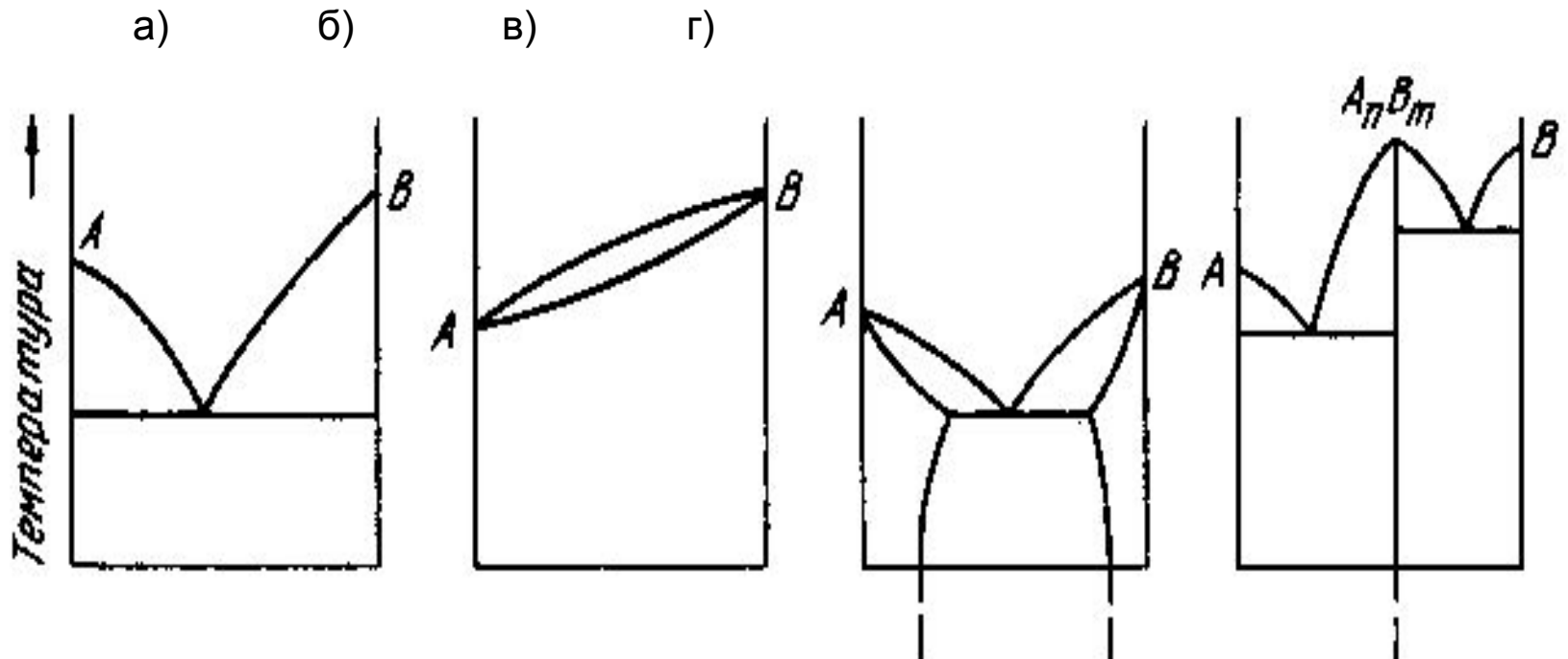




- **Диаграмма состояния с устойчивым химическим соединением для сплавов, образующих химическое соединение**
- При концентрации, соответствующей химическому соединению  $An Bm$ , отмечается **характерный перелом** на кривой свойств.
- Это объясняется тем, что некоторые свойства химических соединений обычно резко отличаются от свойств образующих их компонентов.
- В данном случае химическое соединение  $An Bm$  образует с компонентами **A** и **B** сплавы, относящиеся к диаграмме состояний, представленной на рисунке.
- Структурный состав любого сплава системы **A-B** в твердом состоянии будет представлять смесь химического соединения и одного из исходных компонентов.

# Типы диаграмм состояний в зависимости от вида сплава

- а) - механическая смесь; б) - твердый раствор с неограниченной растворимостью; в) - твердый раствор с ограниченной растворимостью; г) - химическое соединение



# Сталь

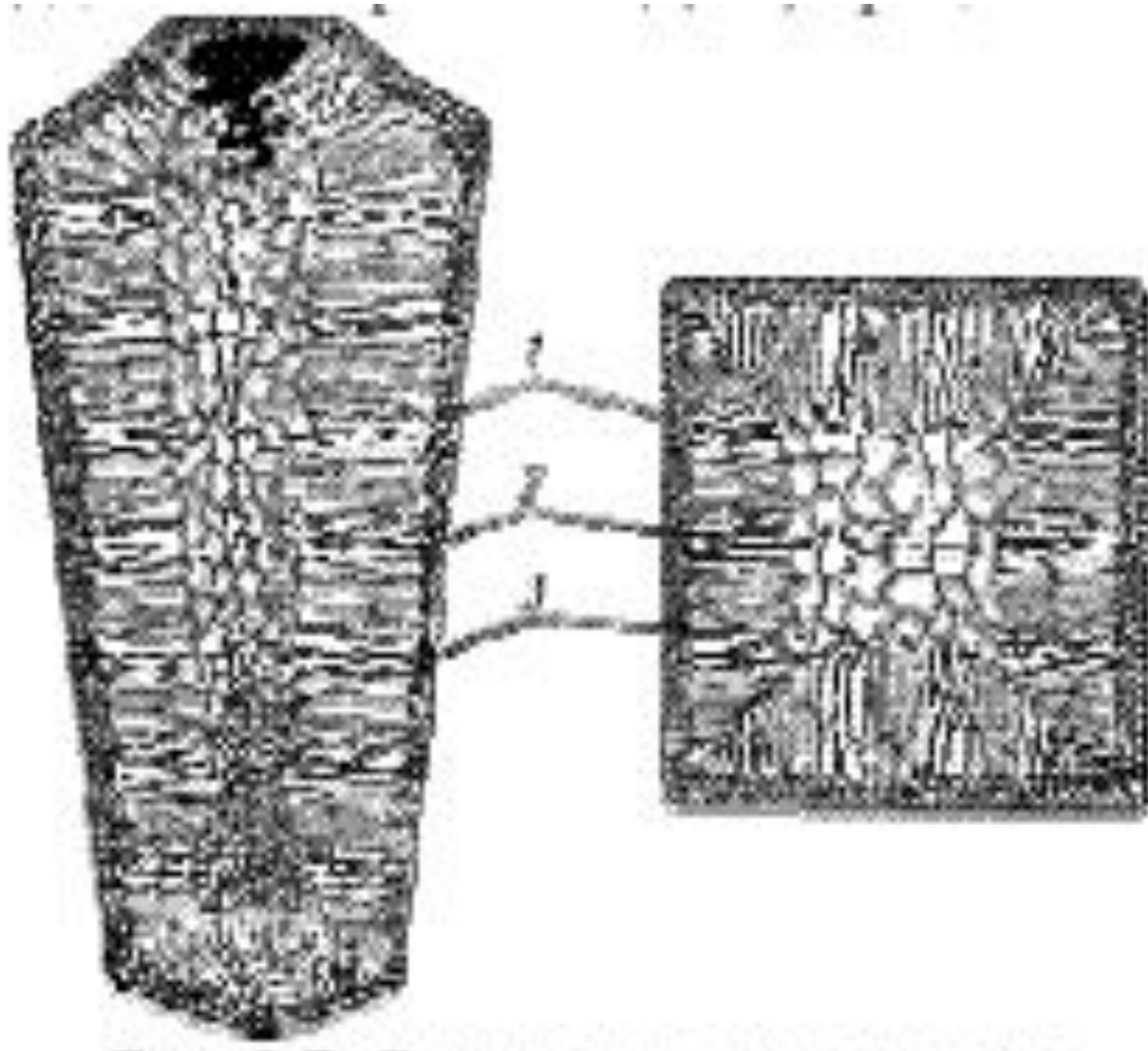
- **Сталь** представляет собой **сплав железа с углеродом**, концентрация которого не превышает **2,14%**. В стали общего назначения его содержание колеблется от **0,05** до **1%**.
- **Легирование железа углеродом** состоит из двух этапов. На первом к железу добавляют **6,67%** углерода, в результате чего образуется карбид железа, или цементит.
- При нормальных условиях обычная сталь состоит из двух гомогенных фаз – **цементита и феррита**. При нагревании цементит растворяется в железе с образованием аустенита.
- **Концентрация углерода** влияет на основные механические свойства стали. Ее увеличение способствует снижению пластичности и вязкости, повышению твердости и прочности вещества.
- Кроме того, углерод повышает литейные свойства, но ухудшает свариваемость и обрабатываемость стали.

- **Марганец и кремний** являются специальными добавками, вводимыми в состав стали с целью удаления сернистых соединений железа и двухвалентного оксида.
- Концентрация кремния находится в пределах 0,4%, а марганца – 0,8%. **Марганец и кремний** также **повышают предел прочности и упругость** соответственно.
- **Фосфор** повышает **прочность вещества, уменьшая пластичность и вязкость**. Отрицательное воздействие элемента заключается в придании стали хладноломкости, поэтому при производстве не допускается превышение его содержания в 0,045%.
- **Сера** обуславливает красноломкость сплава, ее концентрация ограничена 0,05%.

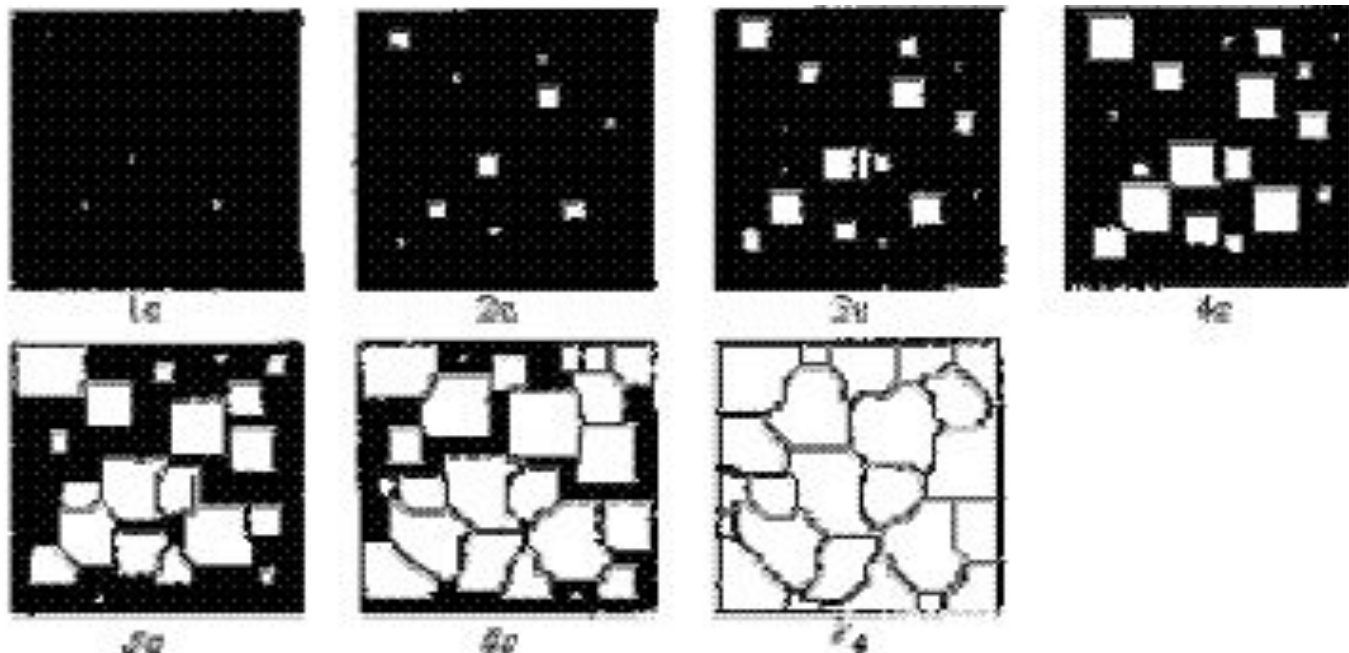
# Классификации стали

- Существует несколько классификаций стали:
- 1. В зависимости от химического состава:
  - - углеродистые, в них присутствует железо, углерод и примеси;
  - - легированные с различными специальными добавками.
- 2. В зависимости от концентрации углерода:
  - - высокоуглеродистые (свыше **0,7 %**);
  - - среднеуглеродистые (**0,25 – 0,7 %**);
  - - низкоуглеродистые (**до 0,25 %**).
- 3. По назначению:
  - - конструкционные;
  - - инструментальные;
  - - специального назначения.
- 4. В зависимости от качества:
  - - обыкновенного качества,
  - - качественные,
  - - высококачественные;
  - - особо высококачественные

# Схема стального слитка



- **Центры кристаллизации** образуются в исходной фазе независимо друг от друга в случайных местах.
- Сначала кристаллы имеют правильную форму, но по мере столкновения и срастания с другими кристаллами форма нарушается.
- **Рост продолжается** в направлениях, где есть свободный доступ питающей среды.
- После окончания кристаллизации имеем **поликристаллическое** тело.



# Термическая обработка стали

- . Назначение термической обработки стали – изменение структуры сплава, а следовательно, и его свойств, например, придание изделию **твердости** и **хрупкости** или, наоборот, мягкости и пластичности.
- **Режимы термической обработки стали:**
- Суть процессов заключается в нагревании стальной заготовки, ее выдержке и охлаждении.
- Все это происходит при строгом соблюдении определенных параметров, **в частности, температуры и скорости.**
- На режимы влияет и классификация сталей. Термическая обработка сталей определенных видов требует разных условий для достижения одного и того же результата.



# Отжиг

- **Технология этого процесса** состоит из нагревания стальных заготовок, выдержки с последующим медленным охлаждением, после чего в металле **достигается равновесная** структура.
- Его задачей является **уменьшение внутреннего напряжения** в сплаве, а также увеличение **пластичности**.
- Такая термическая обработка стали подразделяется **на два рода**. Они имеют существенные различия.
- **Отжиг I рода**. Данный вид термообработки подразделяют на 4 группы:
  - **- гомогенизация**. Сплавам после кристаллизации присущ неравномерный состав химических компонентов как для одного зерна, так и для всего объема слитка, что обуславливается разными температурами плавления элементов.
- Такие неравновесные структуры в большей степени характерны для легированных сталей.

- Заготовки стали нагреваются в специальных печах, в которых выдерживаются от 8 до 15 часов, после чего происходит медленное охлаждение в печи.
- Такая термическая обработка легированных сталей **обеспечивает их пластичность, что значительно облегчает их обработку деформацией.**
- **Рекристаллизационный отжиг.**
- Его применяют для снятия эффекта упрочнения стали, связанного с холодной пластической деформацией, в результате которой образуются дефекты кристаллической решетки, называемые дислокациями и вакансиями
- **Отжиг для снятия остаточных напряжений.** Внутренние напряжения в стальных деталях возникают в результате таких процессов, как сварка, литье, резание, шлифовка, горячая деформация.

- **Отжиг II рода** С помощью этого процесса равновесная структура материала достигается **при фазовых превращениях**.
- Структура стали после термической обработки частично или полностью изменяется.
- Кардинальное **изменение строения сплава** происходит благодаря двойной **перекристаллизации**, в результате которой происходит уменьшение размеров зерен, устранение внутренних напряжений, снятие наклепа.
- **Виды термической обработки стали** – полный (смягчающий) и неполный отжиг.
- **Полный отжиг.** В результате данного процесса происходит превращение крупной ферритно-перлитной структуры в мелкую аустенитную, которая при медленном охлаждении (30-50 °С) преобразуется в мелкую ферритно-перлитную.
- Таким способом обрабатывается конструкционная сталь с целью повышения пластичности и снижения твердости
- **Неполный отжиг.** В результате неполного отжига пластинчатый перлит превращается в зернистый ферритоцементит, проходя через стадию аустенита (около 780 °С).
- Такой процесс используется для инструментальных сталей

# Стадии структуризации строения стали при отжиге II рода



AUSTENITE



MARTENSITE



CEMENTITE



PEARLITE  
COARSE



PEARLITE  
FINE

# Закалка

- Это термическая обработка стали, благодаря которой происходит **повышение** ее **прочности**, **износостойкости**, **твердости**, **предела упругости**, а также **снижение** пластичных свойств.
- **Технология закалки** состоит из нагрева до определенной температуры (примерно 850-900 °С), выдержки и резкого охлаждения, благодаря которому эти свойства и достигаются. Закалка является самым распространенным способом улучшения физико-механических свойств сплава

# Отпуск

- Это термическая обработка стали, **направленная на ослабление внутренних напряжений**, которые возникают **при закалке**, а также на повышение вязкости.
- Такая обработка применяется к сталям, которые претерпели полиморфные превращения.
- Режимы термической обработки стали включают нагрев до температуры 150-650 °С, выдержку и охлаждение, скорость которого роли не играет.
- В процессе отпуска более твердые, но неустойчивые структуры преобразуются в более пластичные и стабильные.
- Отпуск бывает высоким, средним и низким