



# Основы теории сплавов

## Лекция 4

### Поток 11МС

**Лектор Дощечкина И.В.**

Lect\_3\_11MC\_Theory of alloys\_DIV\_2016.ppt

(Использованы материалы электронного учебника МАДИ и электронного ресурса [www.google.com.ua/search](http://www.google.com.ua/search))

# ПЛАН ЛЕКЦИИ:

- 1. Основные понятия и определения.
- 2. Формирование различных фаз при кристаллизации из жидкого состояния.
- 3. Понятие «диаграмма состояния сплавов» и метод ее построения.
- 4. Диаграмма состояния сплавов с образованием механической смеси компонентов.
- 5. Диаграммы состояния для неограниченных и ограниченных твердых растворов.
- 6. Диаграмма состояния с образованием устойчивого химического соединения.
- 7. Взаимосвязь между свойствами сплавов и их диаграммами состояния.

# Основные понятия и определения .

**ОСНОВНЫМ КОНСТРУКЦИОННЫМ МАТЕРИАЛОМ, ИЗ КОТОРОГО ИЗГОТАВЛИВАЮТ ДЕТАЛИ МАШИН И КОНСТРУКЦИИ, ЯВЛЯЮТСЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ СПЛАВЫ.**

**Сплав** – это материал , который получают сплавлением двух или большего количества элементов.

**Компоненты** –элементы, из которых состоит сплав. Компонентами могут быть металлы и неметаллы, стойкие химические соединения.

**Система сплавов** – это вся совокупность сплавов с разной концентрацией компонентов.

**Фаза** – однородная по составу и строению часть сплава, отделенная от других частей поверхностью раздела, при переходе через которую свойства резко изменяются (скачком).

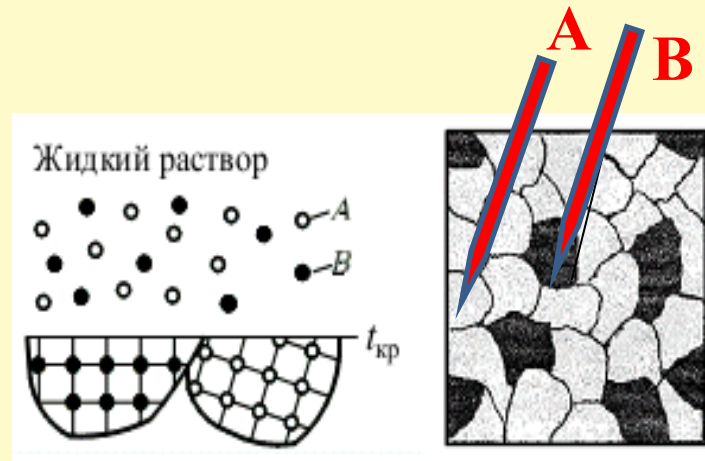
**Структурная составляющая** – это часть сплава , которая отличается по форме или по цвету и выявляется при микроскопическом исследовании. Она может совпадать с фазой или состоять из нескольких фаз.

**Структурные составляющие и фазовый состав сплавов определяют их свойства .**

# Механические смеси компонентов, образующиеся при кристаллизации.

**Механическая смесь** формируется в тех случаях, когда компоненты в твердом состоянии не растворяются друг в друге и не образуют химических соединений.

Компоненты **A** и **B** кристаллизуются каждый отдельно с образованием своей кристаллической решетки.



**а**

**б**

Микроструктура сплава – зерна компонента **A** и компонента **B**. Сплав двухфазный и имеет две структурные составляющие.

Схемы первичной кристаллизации (**а**) и микроструктуры (**б**) сплавов, образующих механические смеси.

# Что такое раствор?

## Компоненты раствора

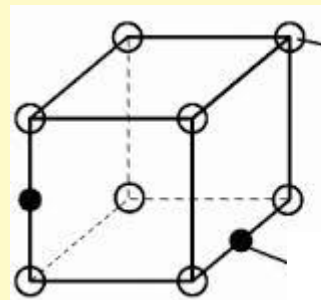


- Компонент, которого больше
- Находится в одной фазе с раствором

# Твердые растворы

-это фазы, в которых атомы одного компонента определенным образом располагаются в решетке другого компонента.

Компонент, кристаллическая решетка которого сохраняется как основа сплава, называется **растворителем**. Компонент, разместившийся в решетке растворителя – это **растворенное вещество**.



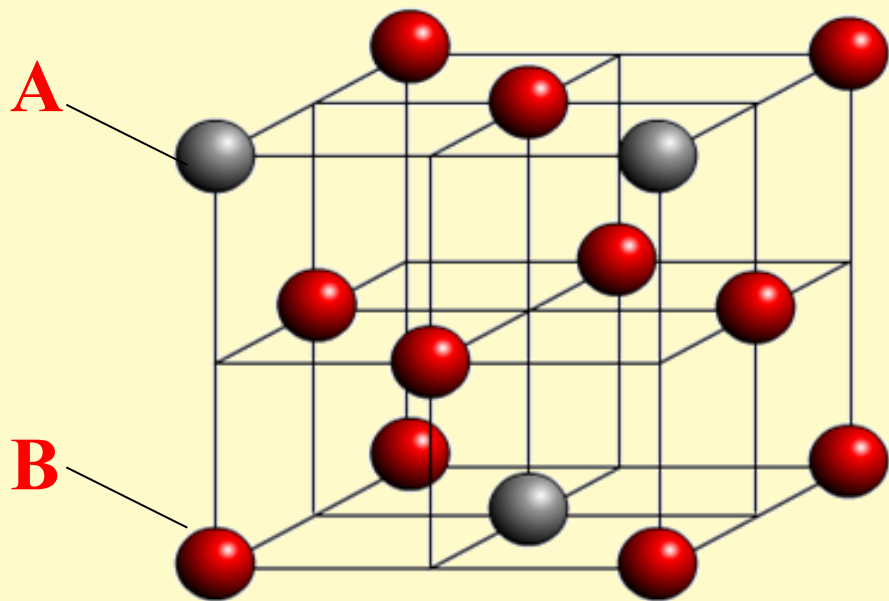
**Растворитель.**

**Растворенное вещество.**

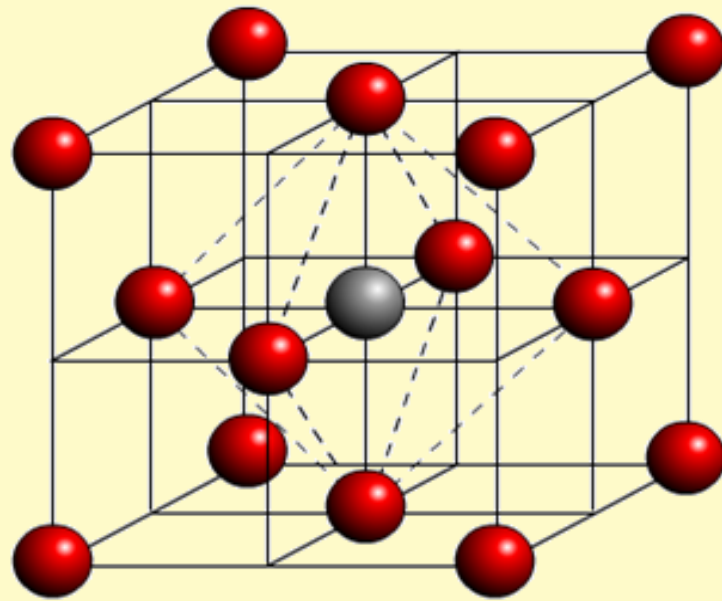
Твердые растворы обозначаются греческими буквами  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ .

В зависимости от характера размещения атомов растворенного компонента в решетке растворителя различают **твердые растворы внедрения и замещения**.

# Твердые растворы замещения и внедрения.



Твёрдый раствор замещения.



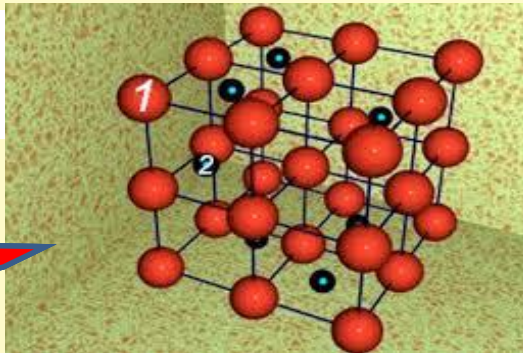
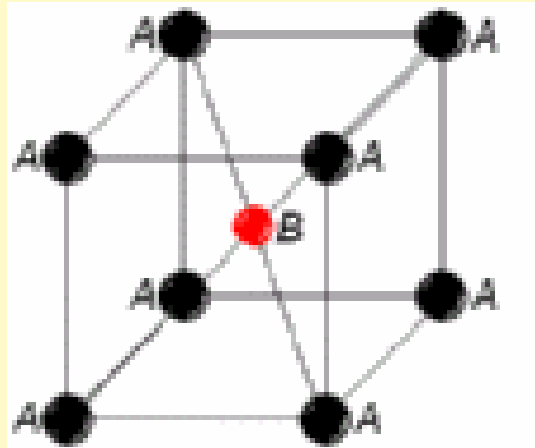
Твёрдый раствор внедрения.

По количеству растворенного вещества твердые растворы делятся на **растворы ограниченной и неограниченной растворимости.**



# Твердые растворы внедрения.

Атомы растворенного элемента В располагаются между узлами кристаллической решетки растворителя А, так как имеют меньшие размеры.



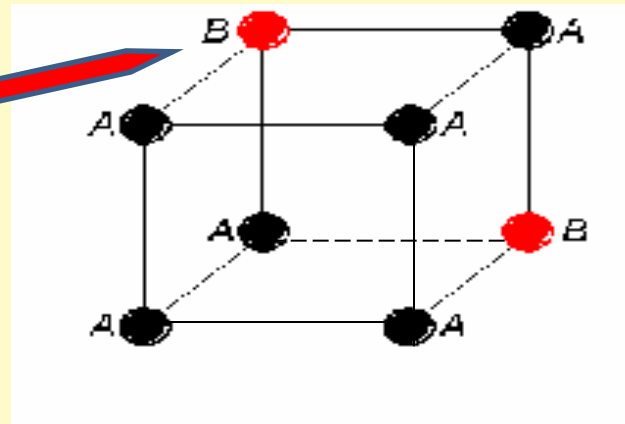
Твердые растворы внедрения образуют металлы с металлоидами (С,Р,Н,О,Н). Они могут быть **ТОЛЬКО** ограниченными.

**Растворы внедрения – основной тип растворов в железоуглеродистых сплавах ( сталях и чугунах ).**



# Твёрдые растворы замещения.

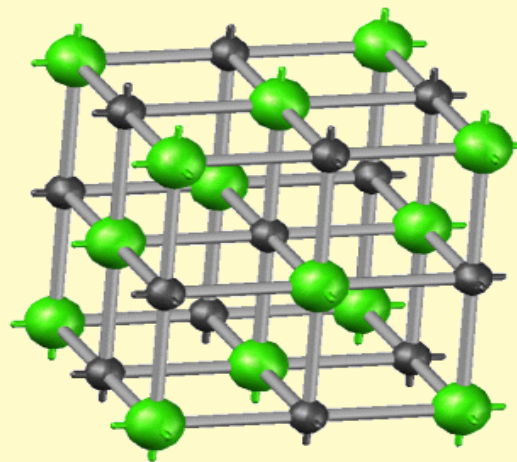
Атомы растворенного элемента В замещают часть атомов растворителя А в узлах его решетки.



Твёрдый раствор замещения.

Твердые растворы замещения образуют металлы с металлами. Они могут быть ограниченными и неограниченными.

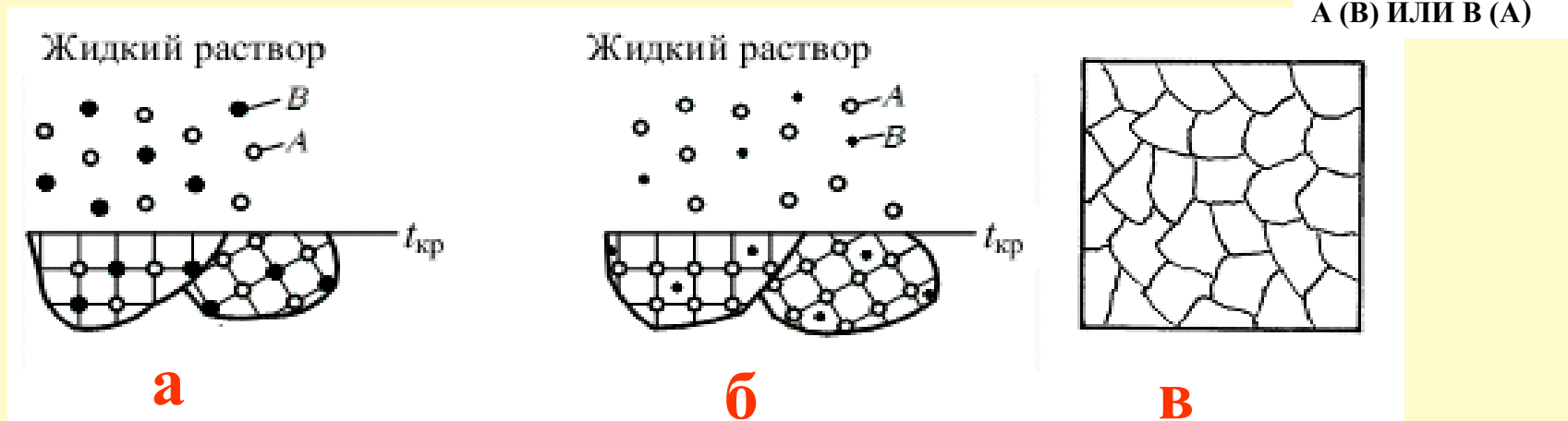
Неограниченные твердые растворы образуются в системах Cu-Ni  
Ag-Au.



Ограниченные твердые растворы формируются в сплавах Al-Si, Al – Cu.

# Кристаллизация твердых растворов.

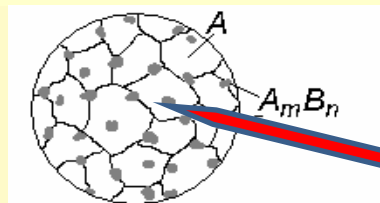
Твердые растворы, из двух или более компонентов, имеют один тип решетки и являются одной фазой.



Схемы кристаллизации твердых растворов замещения (а), внедрения (б) и структуры твердого раствора (в).

Однофазная структура твердого раствора, аналогичная структуре чистого металла, может быть только в сплавах с неограниченной растворимостью.

В ограниченных твердых растворах в структуре будет присутствовать избыточная фаза.

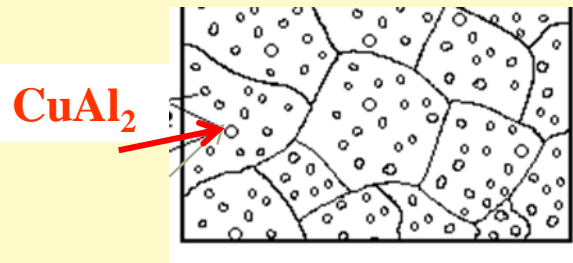
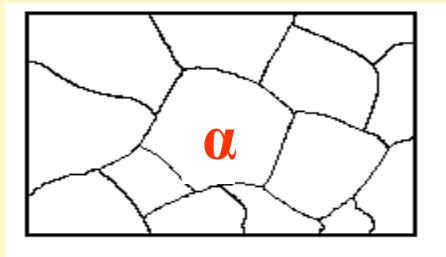


В твердом растворе А химическое соединение  $A_m B_n$ .

# Химические соединения

образуются когда атомы одного компонента в определенном химическом соотношении взаимодействуют с атомами другого компонента, образуя новый тип кристаллической решётки.

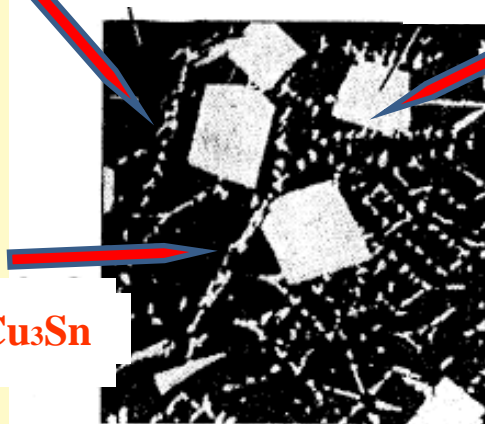
В алюминии растворяется всего 5,7% меди.



Химическое соединение имеет формулу. Отличается высокой твердостью и хрупкостью.

Твердый раствор

$SnSb$



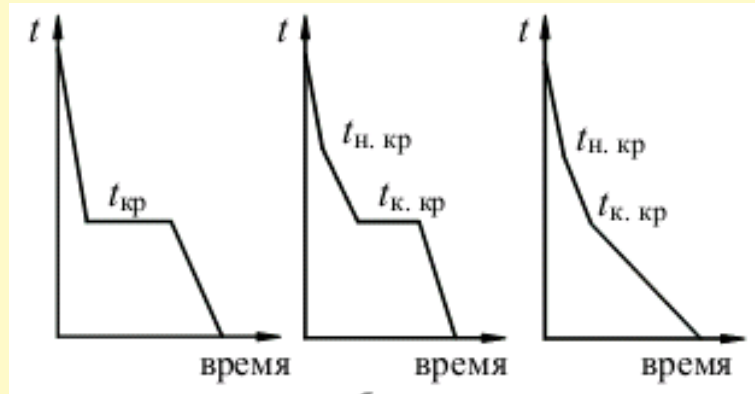
Разные сплавы имеют сложную структуру, которая может состоять из твердых растворов, механической смеси отдельных компонентов и химического соединения.

# Диаграмма состояния сплавов.

Диаграммы сплавов – графическая зависимость между фазовым составом (структурой), температурой и концентрацией элементов данной системы.

Для построения диаграмм состояния используют термический анализ - построение кривых охлаждения (нагрева) сплавов разного состава в координатах температура – время .

Точки перегиба или остановки на кривых – это температуры изменения фазового состава – **критические точки.**



**а**      **б**      **в**

Чистые компоненты и мех. смеси кристаллизуются при постоянной температуре, а твердые растворы – в интервале температур

$$t_{н.кр} - t_{к.кр}$$

Кривые охлаждения из жидкого состояния чистых компонентов (**а**), механических смесей (**б**), твердых растворов (**в**).

# Диаграмма состояния сплавов, в которых образуется механическая смесь компонентов.

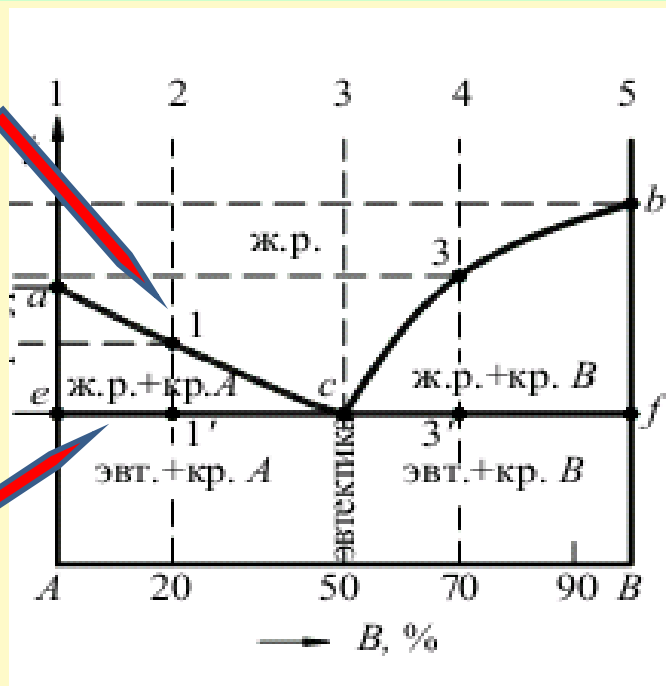
Диаграммы строят в координатах температура – концентрация для условий равновесия, т.е. очень медленного охлаждения или нагрева.

**асb** – линия ликвидуса – начало кристаллизации.

**есf** – линия солидуса – конец кристаллизации.

**С** – эвтектическая точка.

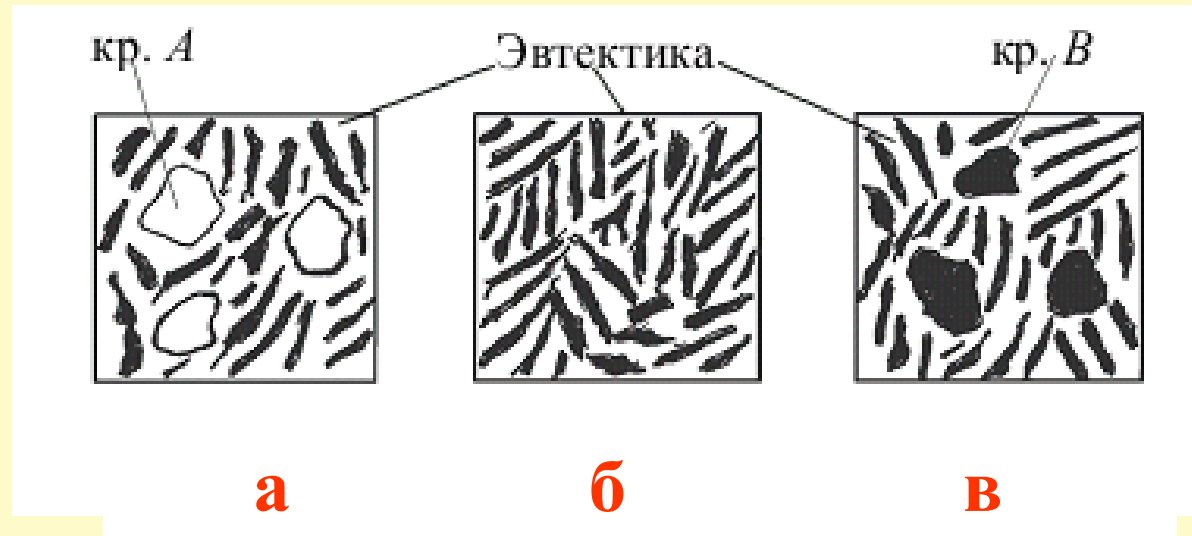
**есf** – эвтектическая горизонталь.



**Эвтектика** – однородная механическая смесь кристаллов двух или более фаз, которые одновременно кристаллизуются из жидкого раствора при постоянной температуре, самой низкой для данной системы.

Такой тип диаграммы имеют сплавы систем Pb–Sb, Zn–Cd и др.

# Структуры сплавов, образующих механические смеси после завершения кристаллизации.



**а** – доэвтектический; **б** – эвтектический; **в** – заэвтектический сплав

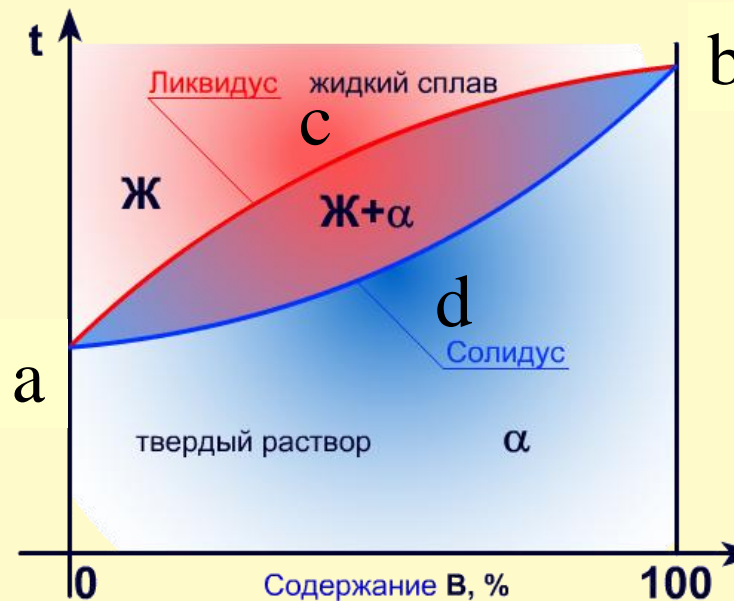
**Эвтектика состоит из смеси кристаллов А и кристаллов В.**

Присутствие эвтектики в доэвтектических и заэвтектических сплавах связано с изменением концентрации жидкого раствора в процессе кристаллизации. **При температуре солидуса сплав достигает эвтектического состава.**

# Диаграмма состояния сплавов, образующих неограниченные твердые растворы.

Компоненты сплавов имеют одинаковые кристаллические решетки и полностью взаиморастворимы в твердом состоянии. Такой тип диаграммы имеют сплавы систем Cu–Ni, Fe–Ni и др.

В процессе кристаллизации непрерывно изменяется состав жидкого раствора по линии ликвидуса, а состав твердого раствора – по линии солидуса.

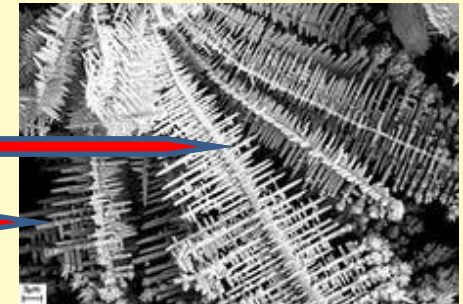


**acb** — это линия ликвидуса.

**adb** — это линия солидуса.

**α** — тв. р-р переменной концентрации.

Для сплавов характерна **дендритная ликвация** — неоднородность дендрита по химическому составу: **оси обогащены** тугоплавким компонентом В, а **межосные зоны обеднены**.





# Диаграмма состояния сплавов, образующих ограниченные твердые растворы.

Компоненты в жидком состоянии растворяются неограниченно, а в твердом – ограниченно.

Диаграммы свойственны наиболее важным промышленным цветным сплавам систем Al–Cu, Cu–Zn, Ti–Al и др.

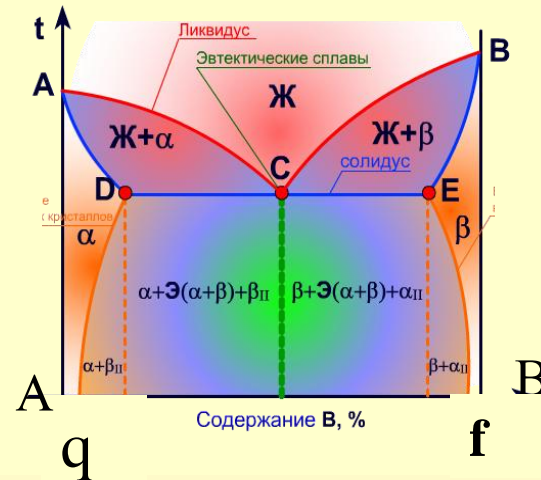
ACB – линия ликвидуса.

DCE – линия солидуса.

$\alpha$  – тв. р-р В в А.

Dq – линия ограниченной растворимости В в  $\alpha$  тв. р-ре.

$\beta_{II}$  – избыточная фаза, обогащенная компонентом В.



$\beta$  – тв. р-р А в В.

Ef – линия ограниченной растворимости А в  $\beta$  тв. р-ре

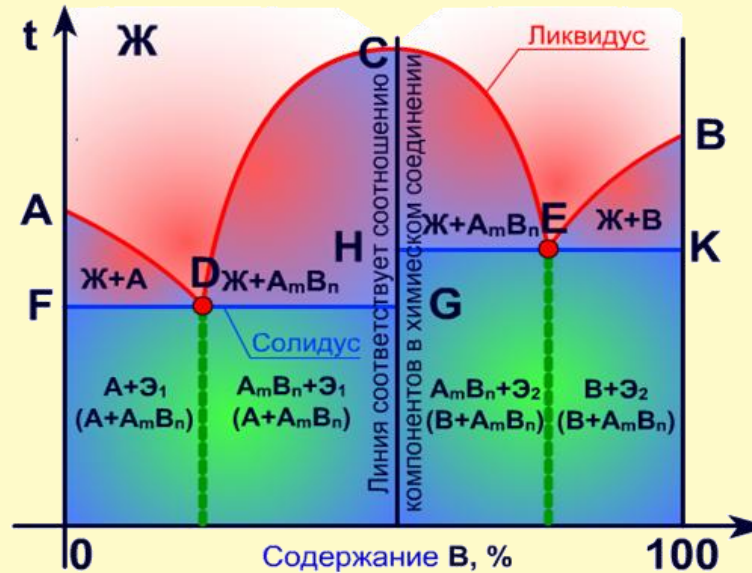
$\alpha_{II}$  – избыточная фаза, обогащенная А.

Выделение избыточных фаз  $\alpha_{II}$  и  $\beta_{II}$  происходит в связи с изменением растворимости компонентов в твердых растворах, т.е. имеет место вторичная кристаллизация.

# Диаграмма состояния сплавов, образующих устойчивые химические соединения.

Химическое соединение характеризуется определенным количественным соотношением элементов, обозначаемым формулой  $A_mB_n$ .

Одна диаграмма:  
компоненты  $A$  и  
химическое  
соединение  $A_mB_n$ .  
Эвтектика  $\mathcal{E}_1$  – мех.  
смесь  $(A + A_mB_n)$ .



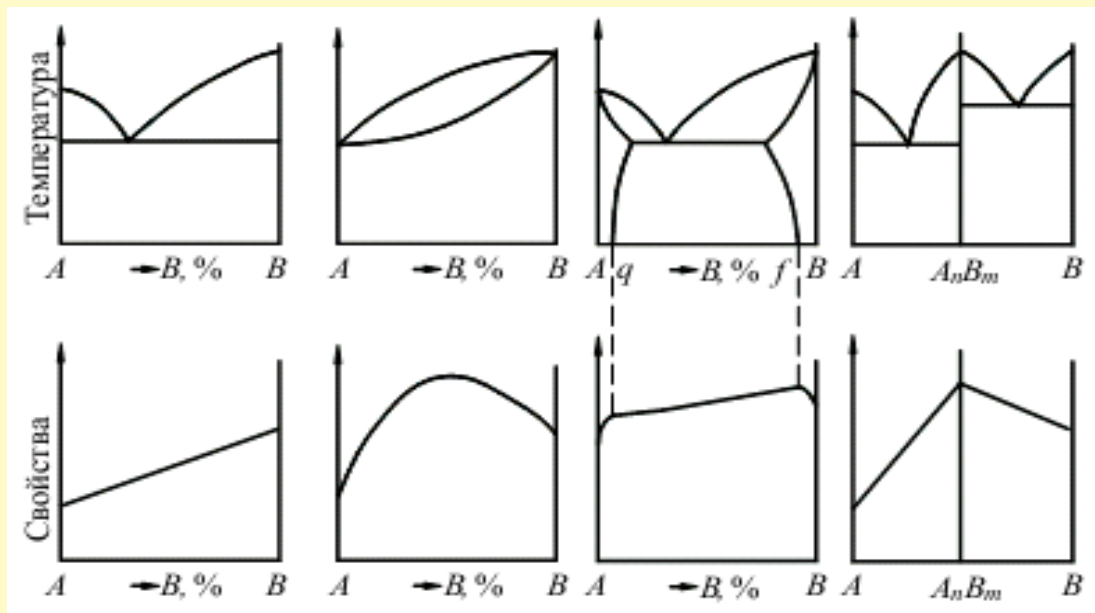
Вторая диаграмма:  
химическое  
соединение  $A_mB_n$   
и компонент  $B$ .  
Эвтектика  $\mathcal{E}_2$  – мех.  
смесь  $(B + A_mB_n)$ .

К сплавам, образующим химические соединения, относятся наиболее важные промышленные железоуглеродистые сплавы - стали и чугуны .

# Взаимосвязь между эксплуатационными свойствами сплавов и их диаграммами состояния.

Свойства сплава обусловлены структурой, которая зависит от химического состава и характера взаимодействия компонентов, что и определяет тип диаграммы состояния.

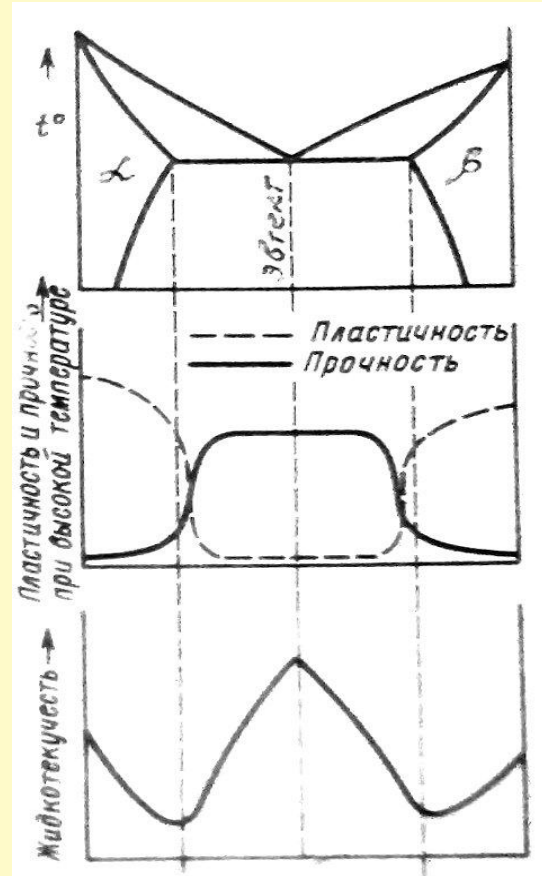
**Закономерности** изменения физико-механических свойств сплавов в зависимости от вида их диаграммы состояния **установлены М.С.Курнаковым.**



**Закономерности М.С. Курнакова используют для выбора сплавов с нужными эксплуатационными свойствами.**

# Взаимосвязь между типом диаграммы состояния и технологическими свойствами сплавов.

Твердые растворы хорошо обрабатываются давлением (легко подвергаются волочению, ковке, прессованию). Обрабатываемость их резанием затруднена, поскольку эти сплавы достаточно вязкие.



Литейные свойства сплавов, образующих твердые растворы, зависят от интервала кристаллизации. С его увеличением жидкотекучесть уменьшается. **Наилучшей жидкотекучестью обладают сплавы эвтектического состава.**

Диаграммы состояния позволяют теоретически прогнозировать, какие сплавы наиболее пригодны для изготовления деталей тем или иным способом (литье, ОМД и др.).

# Вопросы для самостоятельной работы:

- **1. Что такое критические точки и как их определяют?**
- **2. Как по диаграмме состояния определить соотношение жидкой и твердой фаз между линиями ликвидуса и солидуса?**
- **3. Практическое значение диаграмм состояния на конкретных примерах.**

# Литература

- 1. Дьяченко С.С. Материаловедение : учебник / С.С. Дьяченко, И.В. Дощечкина, А.А. Мовлян, Э.И. Плешаков.- Харьков: Издательство ХНАДУ, 2010.- 464 с. (стр.111-134).
- 2. Гладкий И.П. Технология конструкционных материалов и материаловедение : учебное пособие / И.П. Гладкий, В.И. Мощенок, В.П. Тарабанова, Н.А. Лалазарова, Д.Б. Глушкова.- Харьков: ХНАДУ, 2011.- 460 с. ( 60-67).



# Кафедра технології металлов и матеріалознавства.

Доц. Дощечкина Ирина Васильевна.

**E-mail: [divkhadi@ukr.net](mailto:divkhadi@ukr.net)**

**Харьков, ул. Петровского, 25, ХНАДУ**