

# Материаловедение

## Основы теории сплавов

**Фазовый состав сплавов. Структурные составляющие сплавов при затвердевании – механические смеси, твердые растворы, химические соединения. Правило фаз. Основные типы диаграмм состояния и методы их построения. Правило отрезков. Правило Курнакова**

Ограниченное применение чистых металлов: главным образом в электрорадиотехнике (проводниковые, электровакуумные и другие материалы). Основные конструкционные материалы - металлические сплавы.

**Сплав** – вещество, полученное сплавлением двух или более элементов (компонентов).

**Компоненты сплава** – простые вещества, образующие сплав.

Компоненты сплава могут взаимодействовать, образуя различные по составу, типу связи и строению кристаллические фазы.

**Фаза** – однородная обособленная часть системы (сплава), имеющая одинаковый состав, строение и свойства. Она отделена от других частей системы (фаз) поверхностью раздела, при переходе через которую химический состав или строение вещества изменяются скачкообразно.

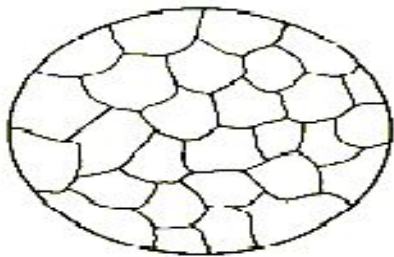
В жидком состоянии почти все металлы растворяются друг в друге и образуют **жидкий раствор**.

При затвердевании сплава возможно образование следующих фаз:

- Твердый раствор

# Твердые растворы (ТР)

ТР – это однофазная система, в которой один из компонентов образует собственную кристаллическую решетку (растворитель), а второй присутствует в виде отдельных атомов, то есть собственной кристаллической решетки не имеет (растворенный компонент).  $A(B)$  – компонент  $B$  растворен в решетке компонента  $A$ . Микроструктура ТР состоит из однородных зерен, имеющих кристаллическую решетку элемента растворителя.



Микроструктура твердого раствора

Схема образования:  $A + B = A_n(B_m)$  или  $B_n(A_m)$ ,

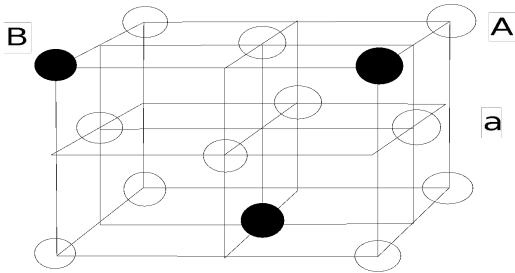
где  $A_n(B_m)$  – твердый раствор компонента  $B$  в компоненте  $A$ ;  $B_n(A_m)$  – твердый раствор компонента  $B$  в компоненте  $A$ .

Признаки сплава:

- однофазный,
- имеет кристаллическую решетку компонента  $B$  или компонента  $A$ ;
- кристаллизация протекает в интервале температур;
- соотношение компонентов является переменной величиной,  $n, m$  – переменные;

# Твердые растворы

- ТР замещения

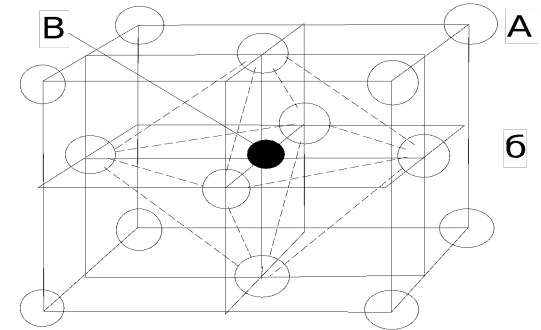


Частицы растворенного вещества (В) замещают частицы растворителя (А) в узлах кристаллической решетки.

Особенности:

- *неограниченная растворимость*; частицы В могут полностью заместить частицы А, если компоненты имеют одинаковый тип кристаллической решетки, близкие значения размеров атомов, близкое строение валентных оболочек;
  - если эти условия не выполняются, то происходят большие искажения решетки и накопление упругой энергии. Решетка становится неустойчивой, и наступает предел растворимости.
  - могут находиться в **упорядоченном состоянии** (определенный порядок распределения частиц В в А).
- Увеличение электропроводности, температурного коэффициента электрического сопротивления, твердости и прочности, снижение пластичности сплава.

- ТР внедрения



Атомы растворенного вещества (В) находятся в порах кристаллической решетки основного компонента (А).

Особенности:

- растворенные вещества должны иметь малый атомный радиус (обычно это неметалл);
- *ограниченная растворимость*;

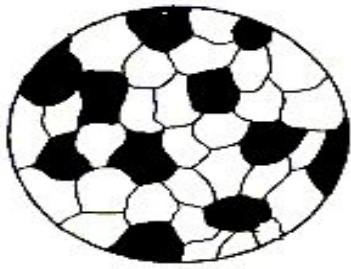
# Химическое соединение

**Сплав - химическое соединение** образуется при определенном соотношении компонентов.

Схема образования  $mA + nB \rightarrow A_n B_m$

Особенности:

- однофазные
- они образуют новую кристаллическую решетку, отличную от решеток исходных элементов;
- соотношение атомов элементов обычно описывается формулой  $A_n B_m$  (хотя могут иметь переменный состав);
- обладают новыми свойствами;
- имеют определенную температуру кристаллизации (т.е. кристаллизация происходит при постоянной температуре).



# Механическая смесь

Микроструктура механической смеси

Образуется в тех случаях, когда компоненты не взаимодействуют между собой и не способны взаимному растворению. Это смеси кристаллов компонентов  $A$  и  $B$  с индивидуальными кристаллическими решетками.

Схема образования:  $A + B = (A + B)$ .

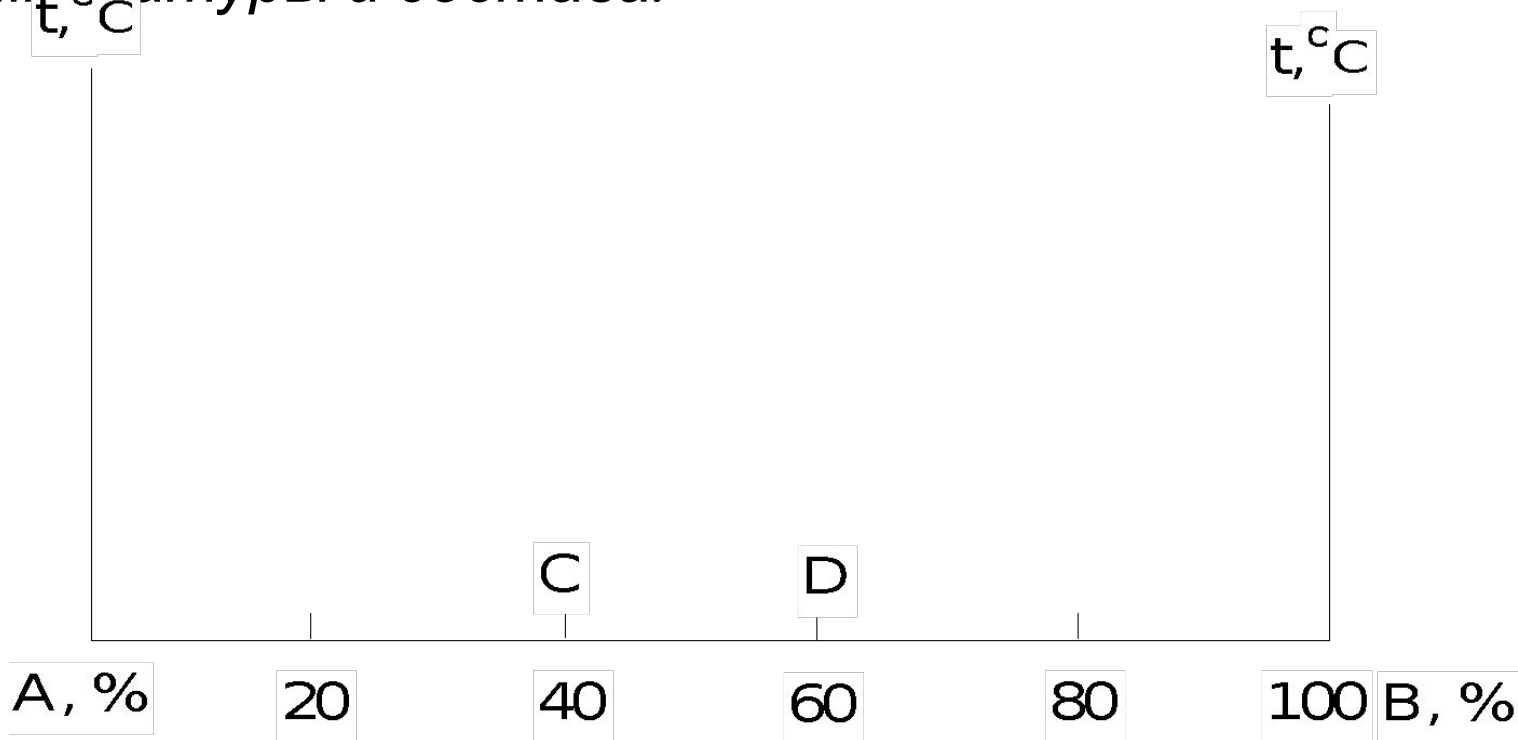
Особенности:

- многофазный;
- компоненты сохраняют индивидуальные кристаллические решетки, зерна различного состава и свойств;
- кристаллизация протекает при постоянной температуре;
- компоненты не образуют химических соединений, взаимно не растворяются в твердом состоянии.

# Диаграмма состояния сплава

Свойства сплава зависят от многих факторов, но прежде всего они определяются составом фаз и их количественным соотношением. Эти сведения можно получить из анализа диаграмм состояния. Зная диаграмму состояния, можно представить полную картину формирования структуры любого сплава, выбрать режимы литья, термической обработки и обработки давлением.

*Диаграмма состояния сплава - графическое изображение состояния сплава в зависимости от его температуры и состава.*



# Диаграмма состояния

Процесс построения диаграммы включает следующие этапы.

1. Построение *кривых охлаждения* (зависимостей изменения температуры сплава в процессе кристаллизации  $t = f(\tau)$ .) компонентов сплава и нескольких сплавов различного состава, например, 100 % *A*, 25 % *B* – 75 % *A*, 50 % *B* – 50 % *A*, 75 % *B* – 25 % *A* и 100 % *B*.
2. Определение температур начала и конца кристаллизации сплавов и компонентов (*критических точек*) по кривым охлаждения.
3. Перенос критических точек на поле диаграммы.
4. Точки начала кристаллизации соединяют одной линией и получают линию «ликвидус»; точки конца кристаллизации соединяют другой линией и получают линию «солидус».



# Правило фаз Гиббса

Правило фаз Гиббса выражает общие закономерности существования устойчивых фаз в условиях равновесия. Оно показывает, происходит ли процесс кристаллизации при постоянной температуре или в интервале температур, и указывает, какое число фаз может одновременно существовать в системе.

$$C = K + 1 - \Phi$$

$K$  – число компонентов (веществ, образующих систему)

$\Phi$  – число фаз

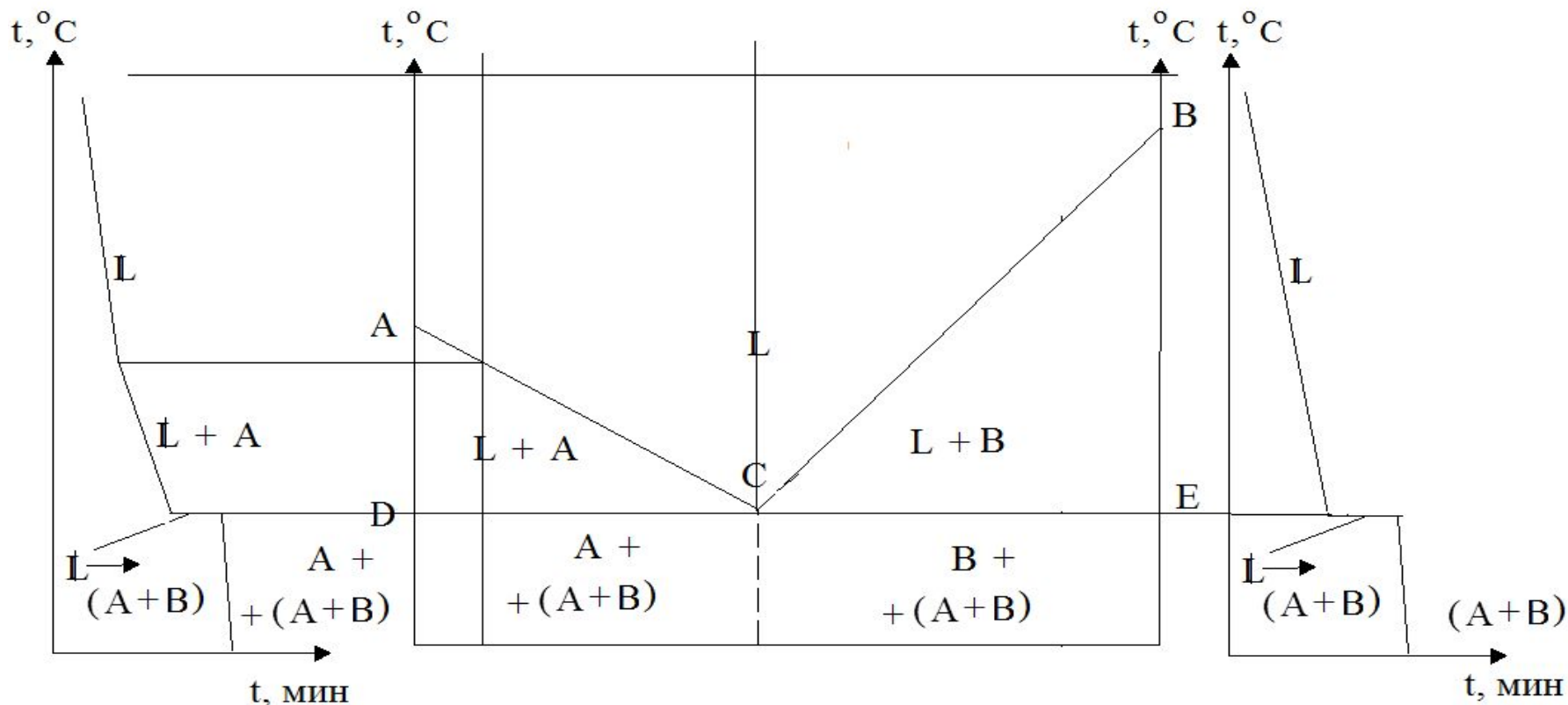
1- температура (внешний фактор). Диаграммы состояния обычно строят при постоянном (атмосферном) давлении

$C$  – число степеней свободы, т.е. число независимых переменных внутренних (состав фаз) и внешних ( $t^\circ$ ) факторов, которые можно изменять без изменения числа фаз, находящихся в равновесии  $C \geq 0$

Число фаз в сплаве, находящемся в равновесии, не может быть больше, чем число компонентов + 1. Если в равновесии находится максимальное число фаз, то  $C=0$  (система нонвариантна), т.е.

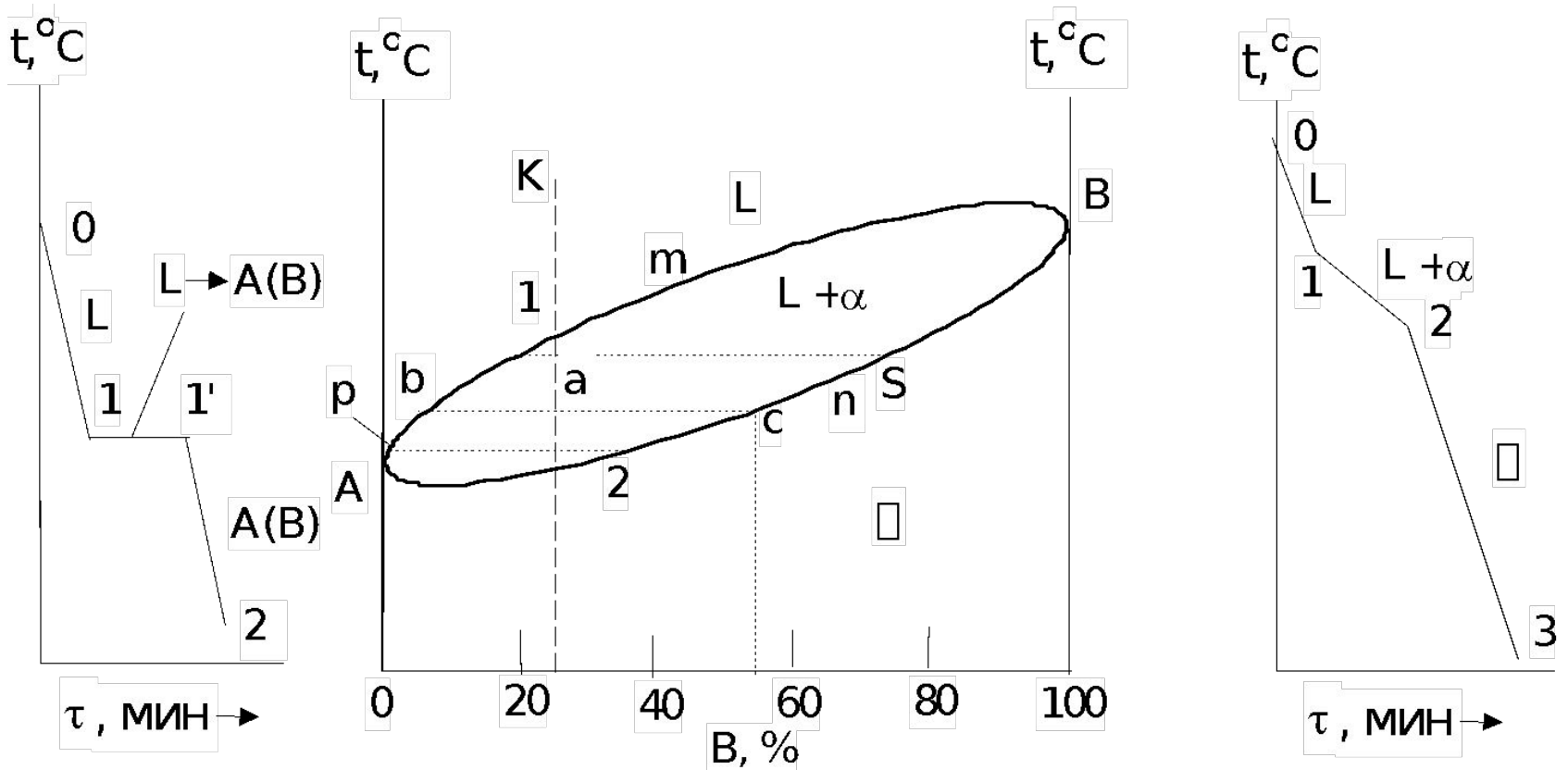
существование всех фаз возможно при постоянной температуре и определенном составе фаз (на кривой охлаждения имеется горизонтальный участок).

# Кривые охлаждения и диаграмма состояния для сплавов, образующих при затвердевании механическую смесь.



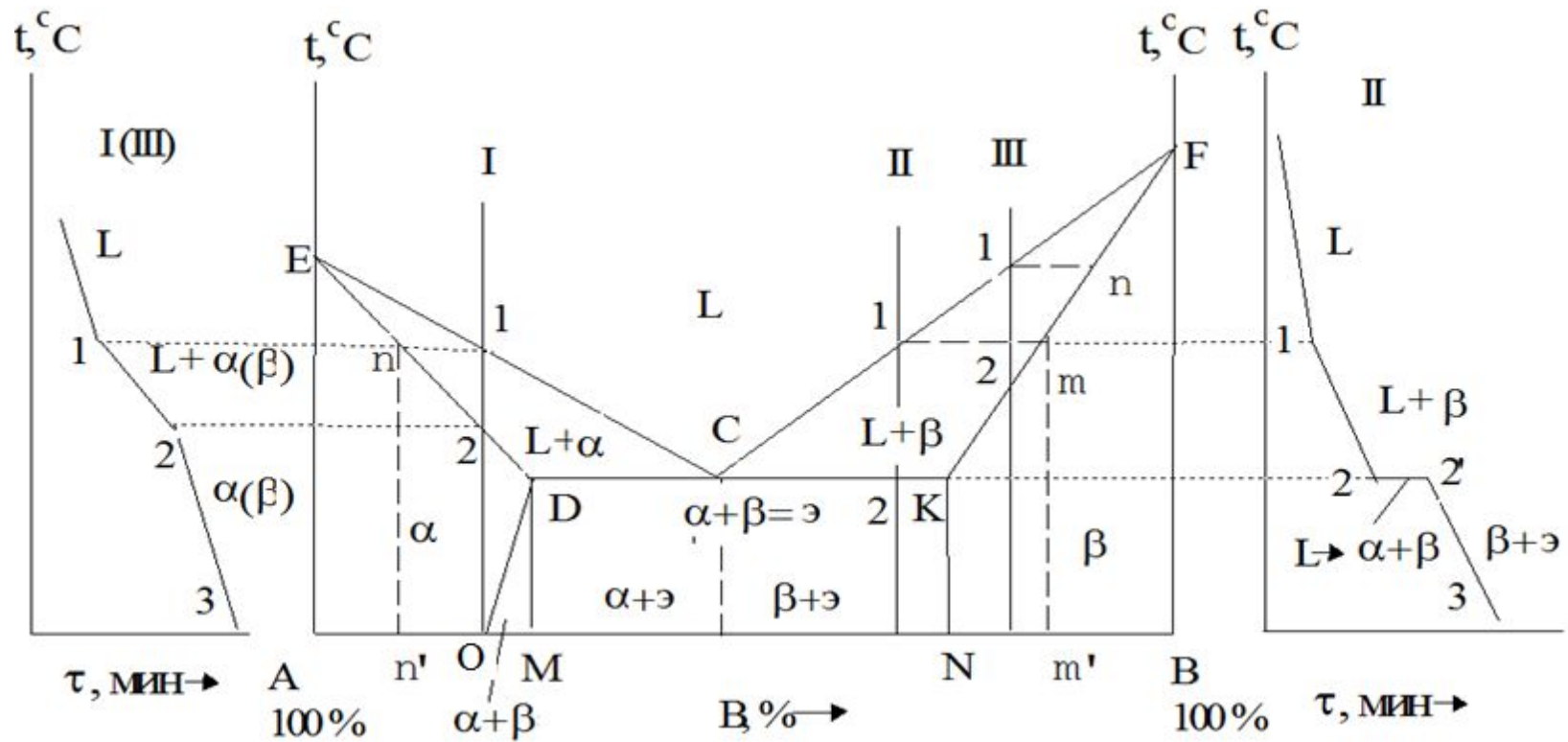
**Компоненты:** вещества А и В. **Фазы :** жидкий раствор L, кристаллы А и кристаллы В. Максимальное значение фаз – 3. ABC – линия «ликвидус». Выше нее система находится в жидком состоянии. DCE – линия «солидус». Ниже нее система находится в твердом состоянии. DCE – линия эвтектических превращений. Т. А и В – температуры плавления чистых веществ. Т.С – точка эвтектики. Эвтектика – механическая смесь двух (или более) видов кристаллов,

# Кривые охлаждения и диаграмма состояния в системе, в которой компоненты неограниченно растворимы друг в друге



Компоненты: А – первый и В – второй металлы. Фазы: жидкость - L и твердый раствор -  $\alpha$ . A1B – линия «ликвидус» диаграммы; A2B – линия «солидус» диаграммы

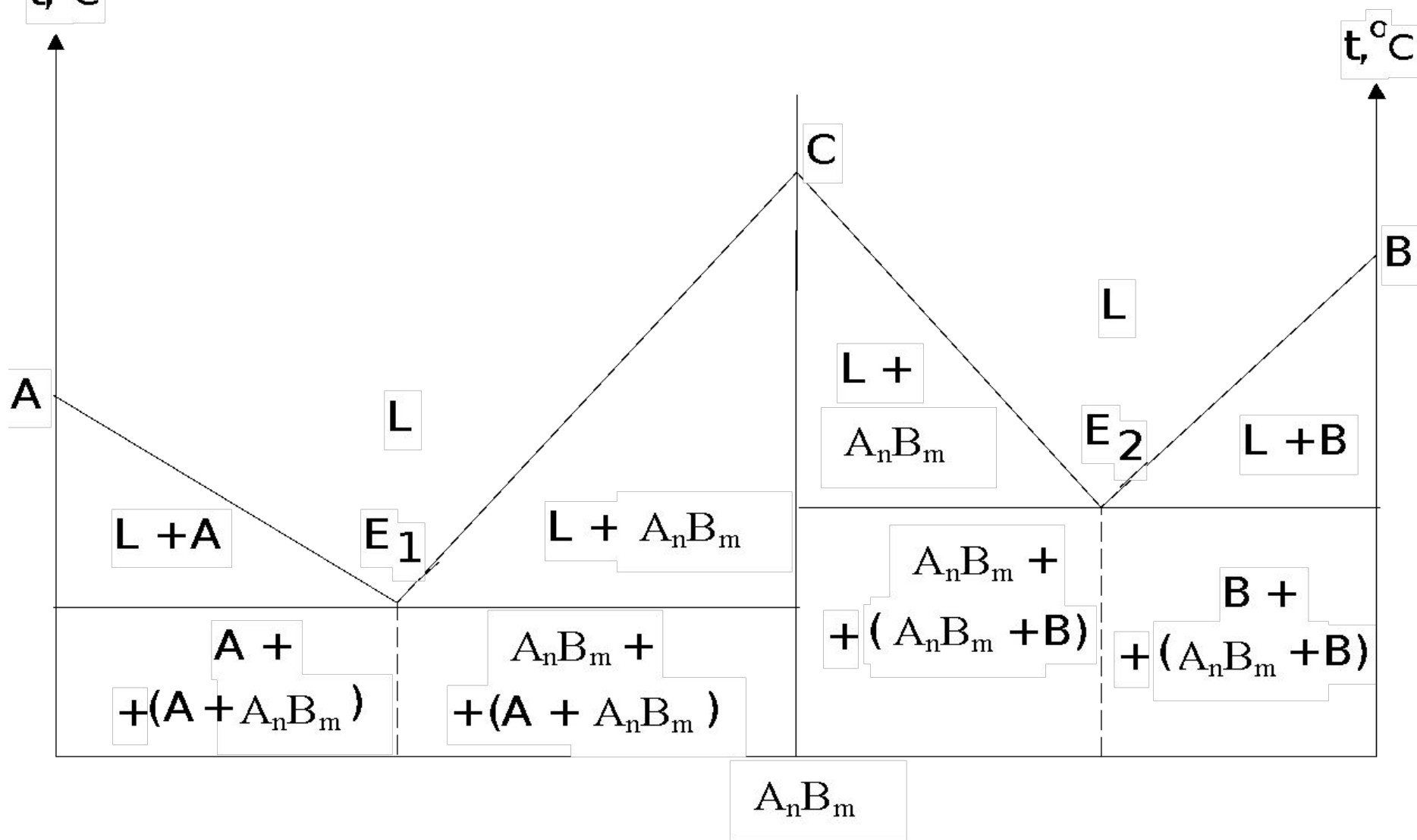
# Диаграмма состояния для сплавов с ограниченной растворимостью в твердом состоянии.



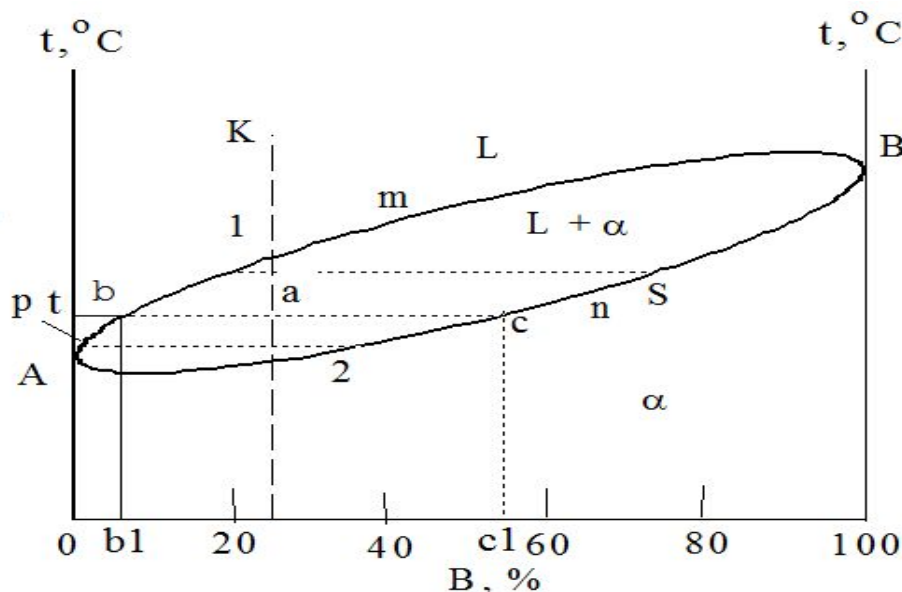
Компоненты А, В. Фазы: L,  $\alpha$  – ТР А(В).,  $\beta$  – ТР В(А). DF – линия предельной растворимости В в А, KN – линия предельной растворимости А в В. Сплавы, находящиеся между этими двумя линиями находятся за пределами растворимости и являются двухфазными, состоящими из  $\alpha+\beta$ .  
 Линия ЕСF - линия ликвидуса. Линия EDCKF – линия солидуса. Линия DCK – линия эвтектических превращений, С- тройная точка.

# Диаграмма состояния системы с

образованием химического соединения  $A_n B_m$



# Правило отрезков или рычага



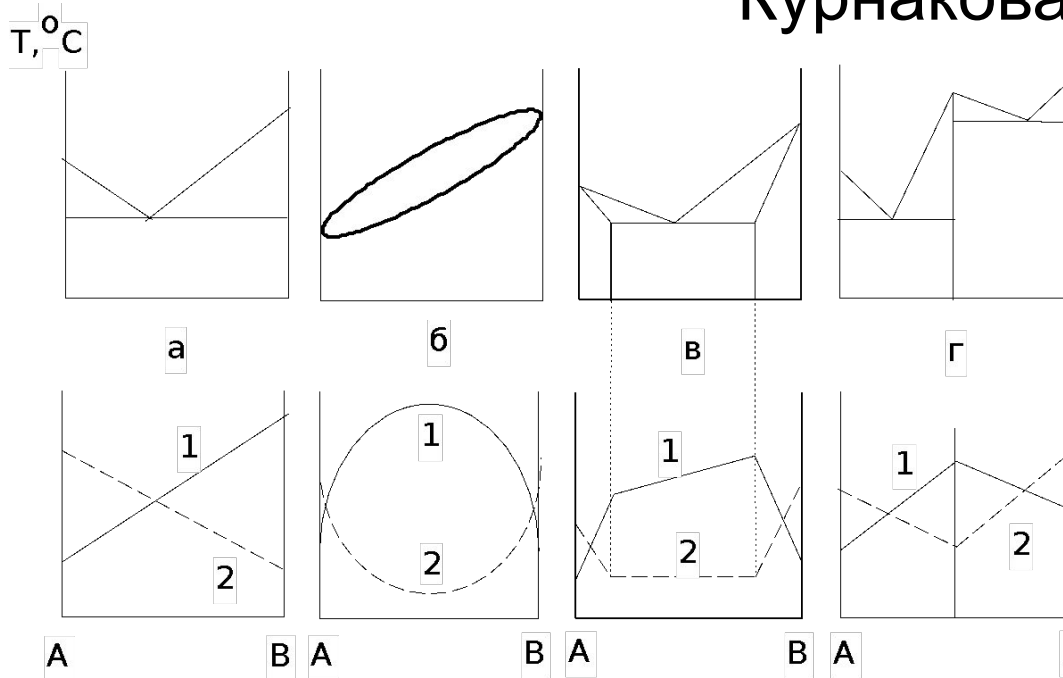
1: Чтобы определить концентрации компонентов в фазах, через данную точку, характеризующую состояние сплава при определенной температуре, проводят горизонтальную линию до пересечения с линиями, ограничивающими данную область; проекции точек пересечения на ось концентраций показывают составы фаз.

Для сплава 1 с концентрацией 30%B и 70%A при температуре  $t$  (точка  $a$ ) состав жидкой фазы определяется проекцией точки  $b$  на ось концентраций (точка  $b^1$ ), а состав твердой фазы – проекцией точки  $c$  на ось концентраций (точка  $c^1$ ). Жидкая фаза имеет состав - 6%B и 94%A, твердой фазой является твердый раствор  $\alpha$  с составом 55%B и 45%A.

2: отрезки линии между точкой, характеризующей состояние сплава в двухфазной области, и точками, определяющими состав фаз, обратно пропорциональны количествам фаз: часть жидкого состояния  $QЖ/QС = ac/bc$ ; а доля твердой фазы  $QT/QС = ba/bc$ , где  $QЖ$  – количество жидкого расплава;  $QT$  – содержание кристаллов твердого тела;  $QС$  – масса сплава.

# Диаграмма состав – свойство сплавов при различных типах взаимодействия компонентов. Правило

## Курнакова



1 – твердость и  
электросопротивление; 2 –  
электропроводность и  
магнитная проницаемость.

В случае образования механических смесей свойства сплавов изменяются по линейному закону. В случае образования твердых растворов свойства изменяются по криволинейной зависимости. Уже при небольших добавках второго компонента такие характеристики,

как твердость, электросопротивление и др. становятся выше, чем свойства компонентов, составляющих сплав, а электропроводность и магнитная проницаемость снижаются. В случае образования ограниченных твердых растворов свойства для однофазных твердых растворов изменяются по криволинейной зависимости, а двухфазных – по прямолинейному закону. В случае образования химического соединения свойства изменяются скачком. Химическое соединение отвечает максимуму или минимуму свойств.

По диаграмме состояния можно определить так же и технологические характеристики сплава. Например, твердые растворы имеют низкие литейные характеристики, а двухфазные, особенно эвтектические, хорошие литейные свойства.

Однофазные сплавы лучше деформируются в холодном и горячем состоянии. Они более коррозионно-стойкие. Двухфазные легче обрабатываются резанием, чем однофазные.