

# Теоретическое и прикладное материаловедение

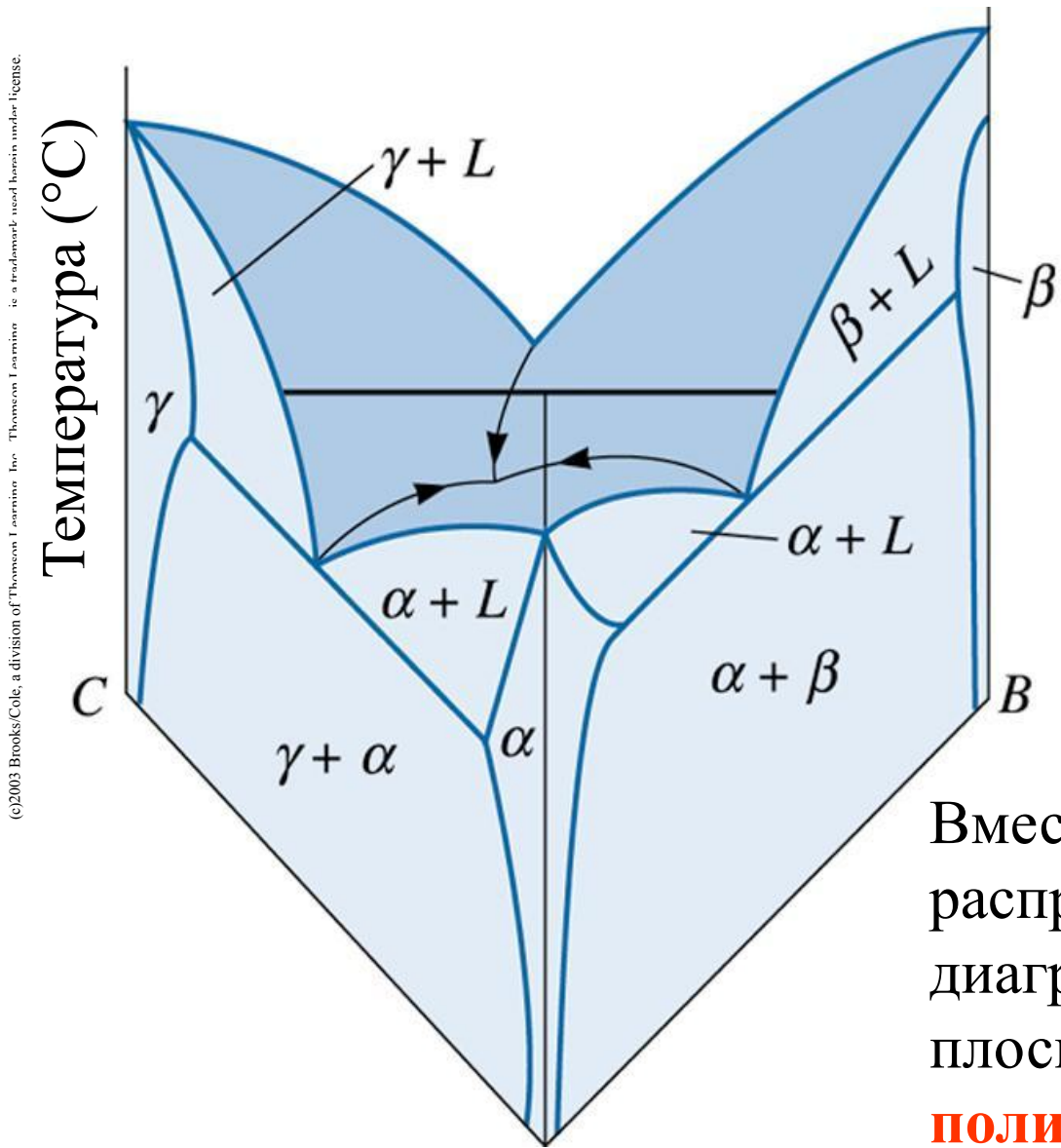
**Лекция 8**

## Трехкомпонентные системы

**Трехкомпонентные сплавы** – такие сплавы формируются при сплавлении трех элементов или компонентов.

**Трехкомпонентная фазовая диаграмма** – фазовая диаграмма для трех компонентов показывающая имеющиеся фазы и их состав при различных температурах. Для этих диаграмм требуется рисовать трехмерное изображение и получать двухмерные изотермические сечения. Для упрощения построения сечений используются концентрационные треугольники.

# Трехкомпонентные системы

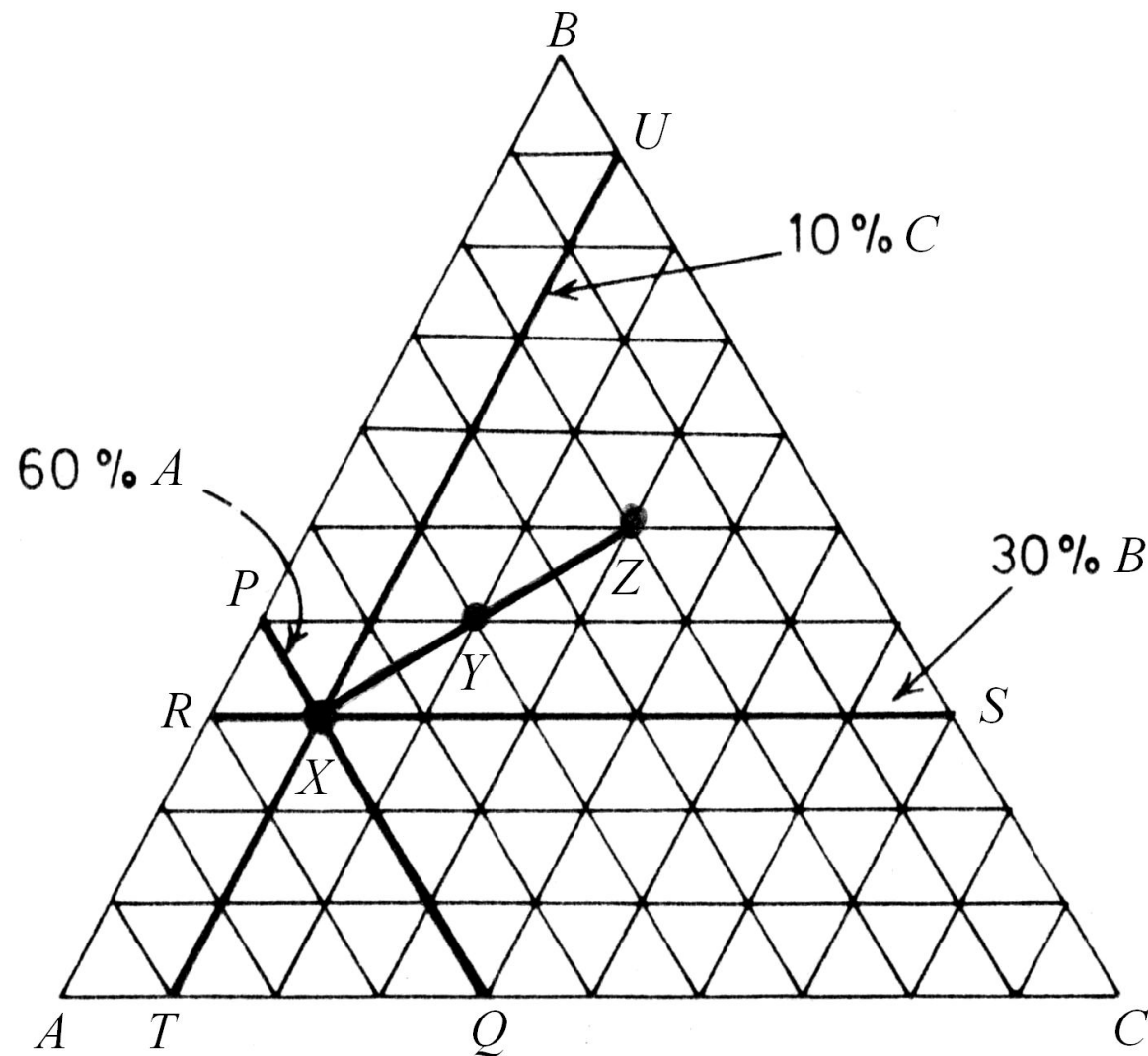


Гипотетическая тройная фазовая диаграмма. Бинарные диаграммы располагаются с трех сторон.

Такая пространственная диаграмма состояния, позволяет изображать фазовые равновесия в любом тройном сплаве и во всей системе А-В-С в целом при разных температурах (при постоянном давлении).

Вместо пространственных диаграмм широкое распространение получили сечения этих диаграмм горизонтальными и вертикальными плоскостями — **изотермические** и **политермические** разрезы.

# Трехкомпонентные системы



**A, B, C** — КОМПОНЕНТЫ  
СПЛАВА

**AB, BC, AC** —  
ПОКАЗЫВАЮТ СОСТАВЫ

**ДВОЙНЫХ** СПЛАВОВ,

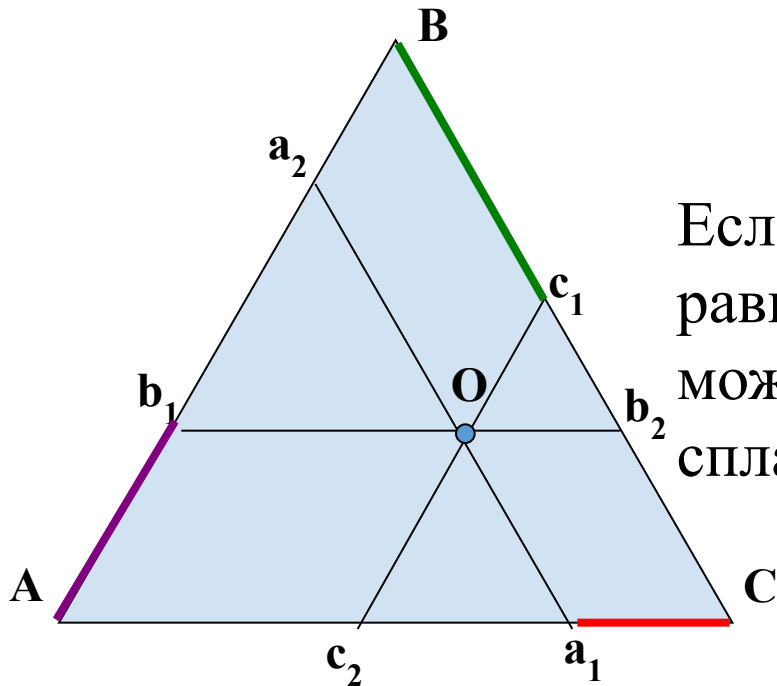
а на ПЛОСКОСТИ  
изображаются СОСТАВЫ

**ТРОЙНЫХ** СПЛАВОВ.

# Трехкомпонентные системы

Изображение трехкомпонентных ДСС в пространстве. Метод равностороннего треугольника.

Сумма отрезков, отсекаемых на каждой одной из двух сторон треугольника при проведении прямой, проведенной параллельно третьей стороне, принятой за основание, равна стороне треугольника.

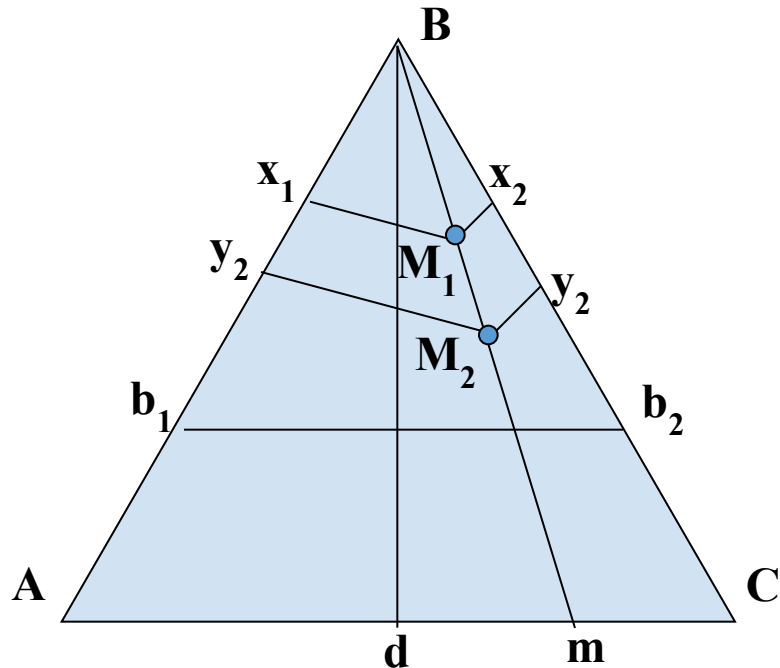


$$\mathbf{Ca+Ab+Bc=AB=BC=AC=100\%}$$
$$\mathbf{\text{или } Oc+Oa+Ob=AB=BC=AC=100\%}$$

Если сторону концентрационного треугольника принять равной 1 или 100 %, то с помощью отрезков Ca, Ab и Bc можно определить концентрацию каждого из компонентов в сплаве O

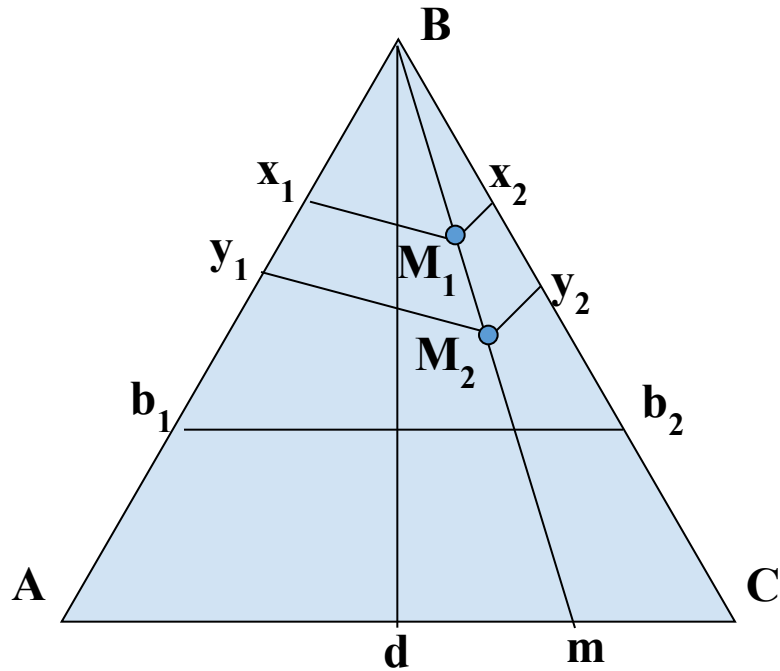
Концентрация компонента A определяется с помощью отрезка Ca<sub>1</sub> (Ba<sub>2</sub>), компонента B отрезком Ab<sub>1</sub>(Cb<sub>2</sub>) и компонента C отрезком Bc<sub>1</sub> (Ac<sub>2</sub>)

1. Все сплавы прямой, параллельной одной из сторон концентрационного треугольника, содержат постоянное количество того компонента, который находится в вершине треугольника, против этой прямой.



Сплавы  $b_1b_2$  содержат постоянное количество компонента В, поскольку отрезки  $Ab_1$  и  $Cb_2$  для всех сплавов имеют одну и ту же длину. Прямые такого типа называют **изоконцентра́тами**. Для всех сплавов такой прямой характерно постоянное суммарное содержание двух других компонентов А и С, так как  $100\% - \%В = \%(А+С)$ . Соотношение же между концентрациями компонентов А и С может изменяться в зависимости от того, где на прямой  $b_1b_2$  находится фигуративная точка заданного состава.

2. Все сплавы прямой, проходящей через одну из вершин концентрационного треугольника. Содержат в постоянном отношении те компоненты, которые располагаются по обе стороны от этой прямой.



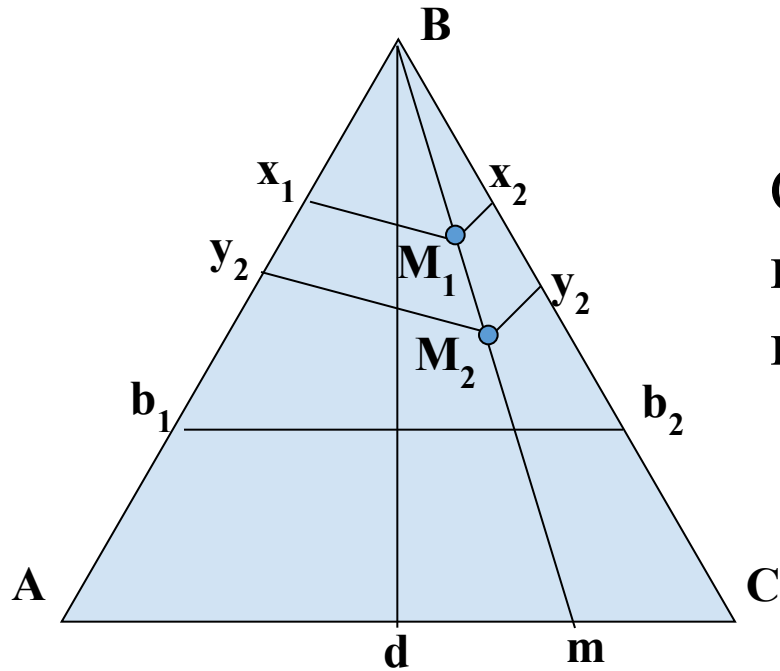
Сплавы прямой  $Bm$  характеризуются постоянным отношением концентраций компонентов  $C/A$ . Если в сплаве  $M_1$  содержание компонентов невелико (фигуративная точка сплава близка к вершине компонента  $B$ ), то в сплаве  $M_2$  оно значительно, однако отношение  $C/A$  в обоих сплавах остается одним и тем же ( $M_1x_1/M_1x_2 = M_2y_1/M_2y_2$  или  $Bx_1/By_1 = Bx_2/By_2$ ) и равным отношению  $C/A$  для двойного сплава  $m$  ( $Cm/Am$ ).



Добавление к сплаву  $m$  из системы  $A-C$  третьего компонента  $B$  не изменяет отношение концентраций компонентов  $A$  и  $C$ , а только уменьшает их суммарное количество.



3. Все сплавы, лежащие на высоте концентрационного треугольника, характеризуются одинаковым содержанием тех компонентов, которые располагаются по обе стороны от этой высоты.

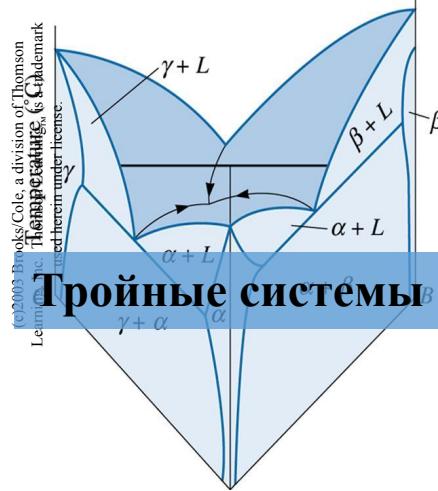


Сплавы, высоты  $Bd$  содержат в одинаковых количествах компоненты  $A$  и  $C$ , поскольку сторона  $AC$  точкой  $d$  делится на равные отрезки  $Ad=Cd$ .



# Трехкомпонентные системы

## Классификация тройных систем



**С твердыми растворами  
на основе компонентов**

**с бивариантными  
равновесиями**

**с би- и  
моновариантными  
равновесиями**

**с би-, моно- и  
нонвариантными  
равновесиями**

**С промежуточными фазами**

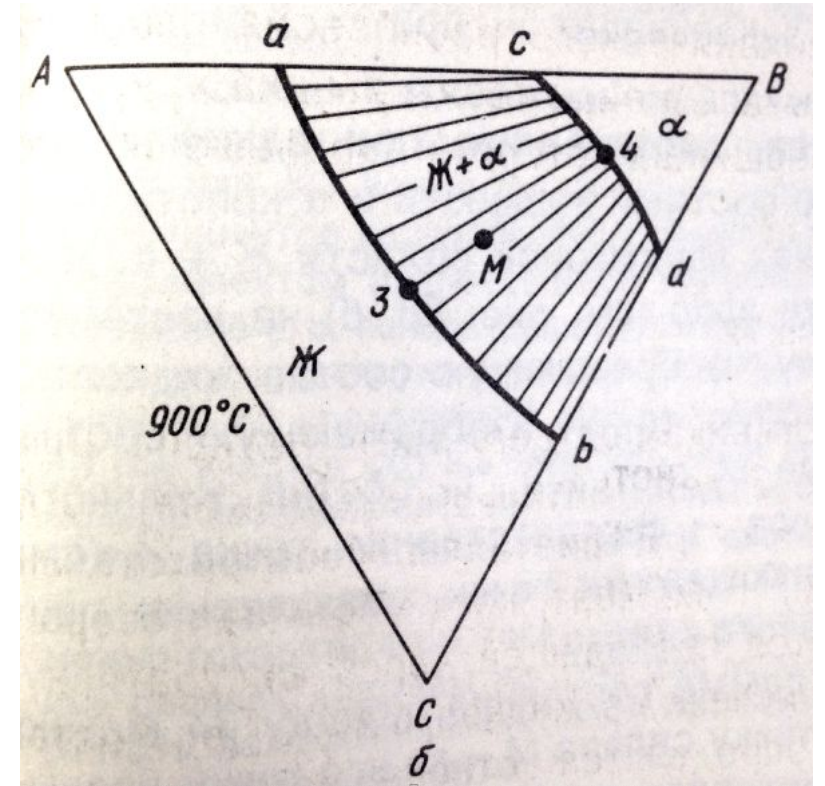
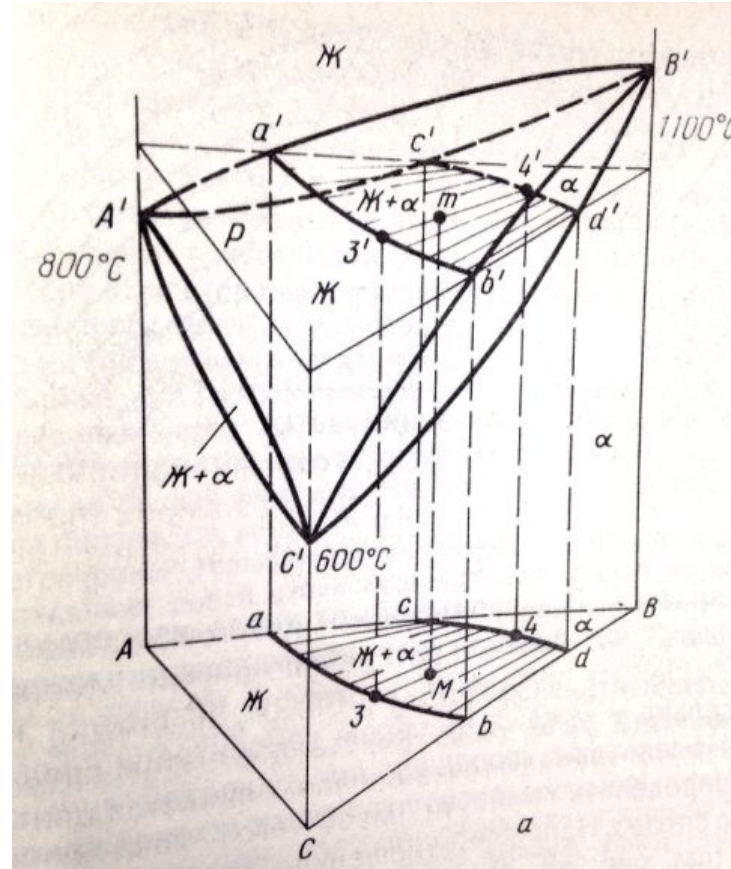
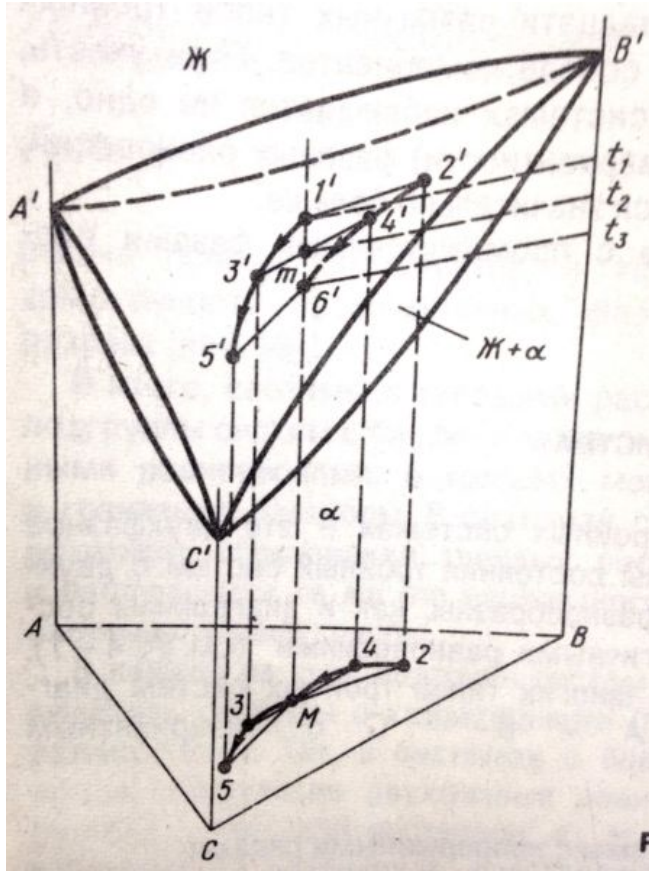
**постоянного состава**

**переменного состава**





# Диаграмма состояния системы с непрерывными рядами жидких и твердых растворов



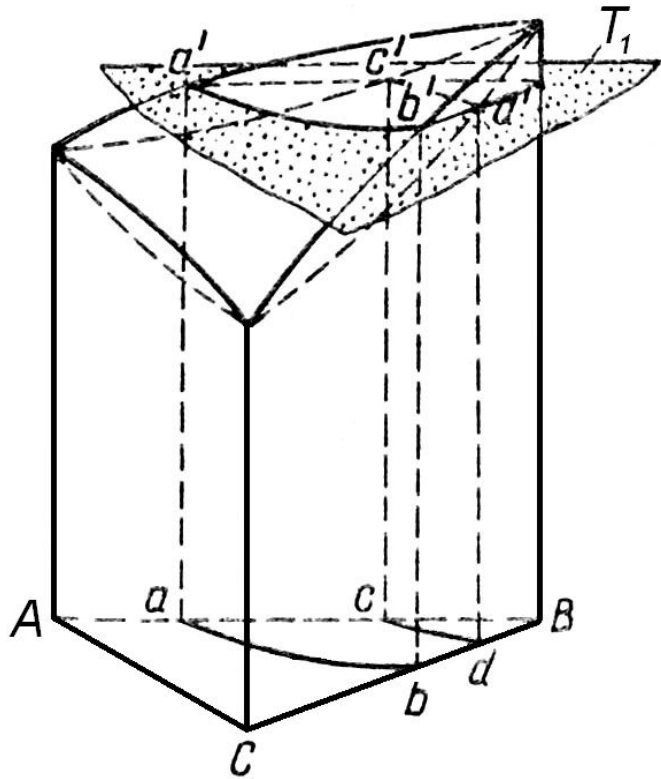
При температуре  $t_2$  в интервале кристаллизации жидкость  $L_3$  окажется в равновесии с  $\alpha$ '4-кристаллами. Конода  $3'4'$  обязательно проходит через фигуративную точку сплава  $m$ .

$t_2$ :

Доля жидкости и кристаллов:  $m4'/3'4'$

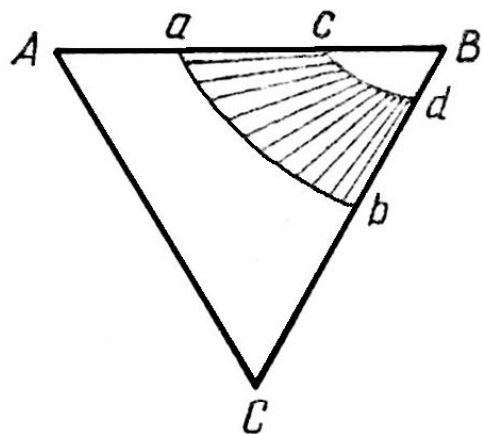
При температуре  $t_3$  кристаллизация сплава  $M$  закончится.

# Изотермические разрезы



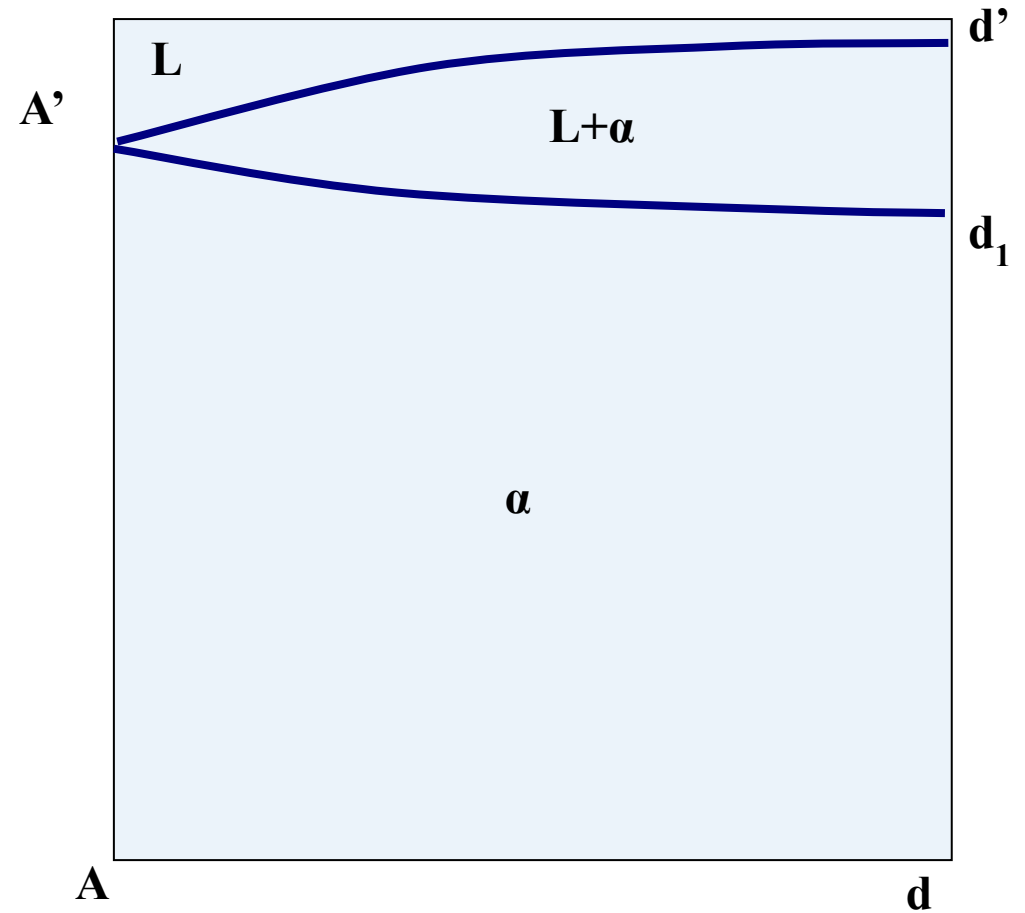
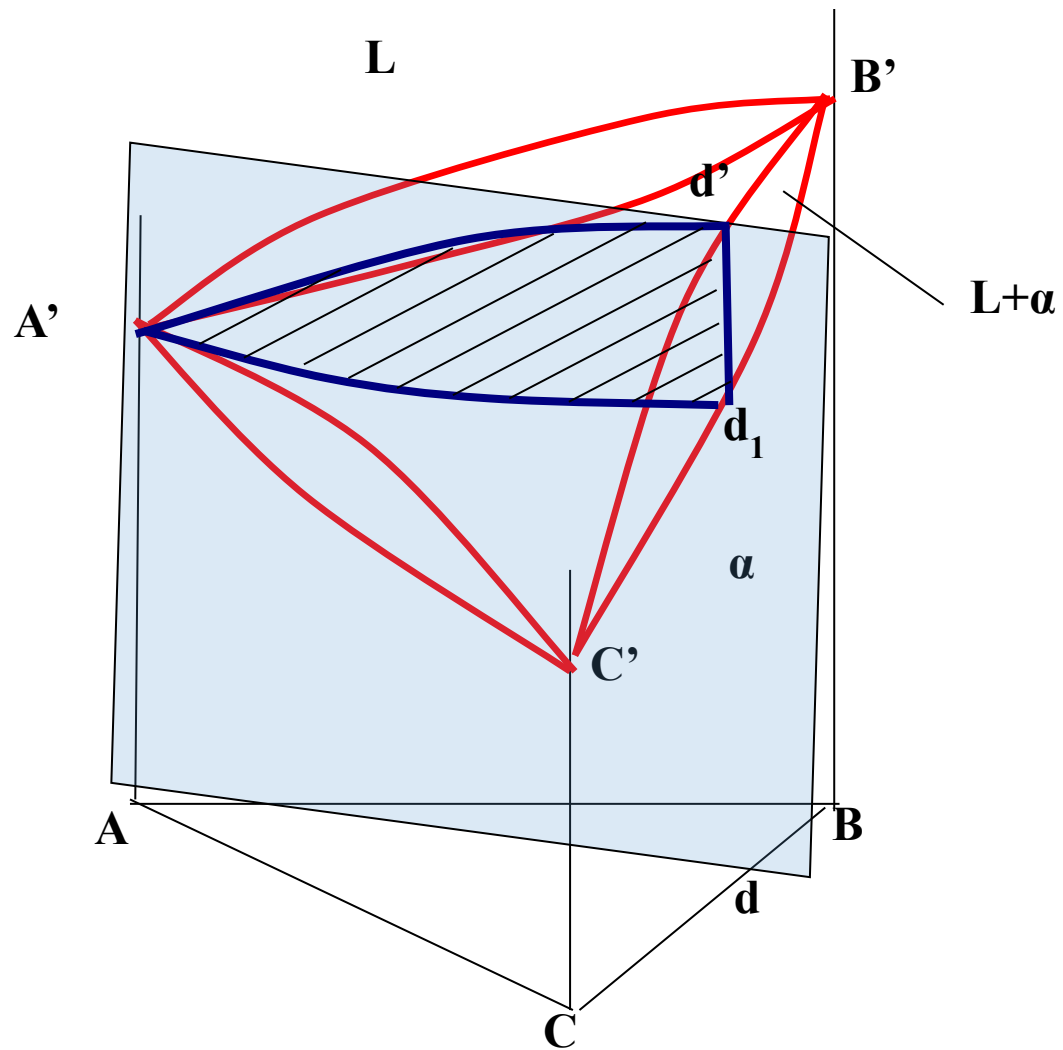
Все сплавы, расположенные на одной изотерме ликвидуса, начинают кристаллизоваться при одной и той же температуре.

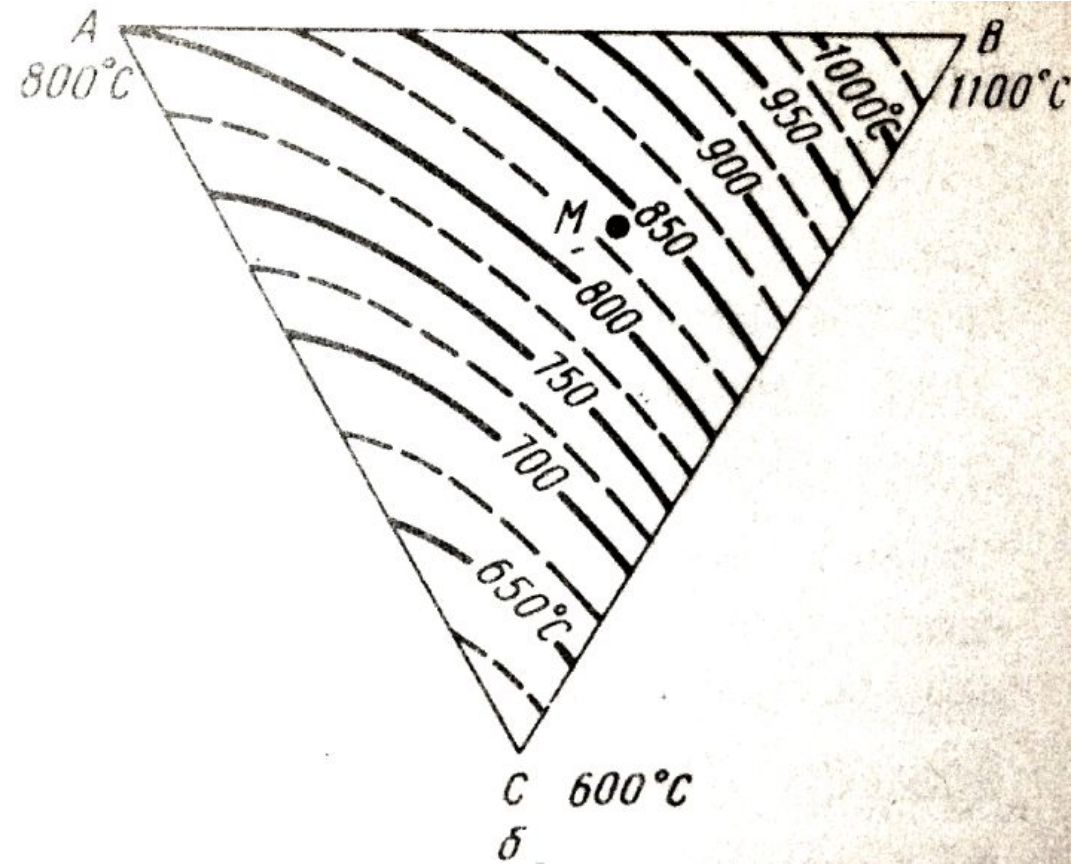
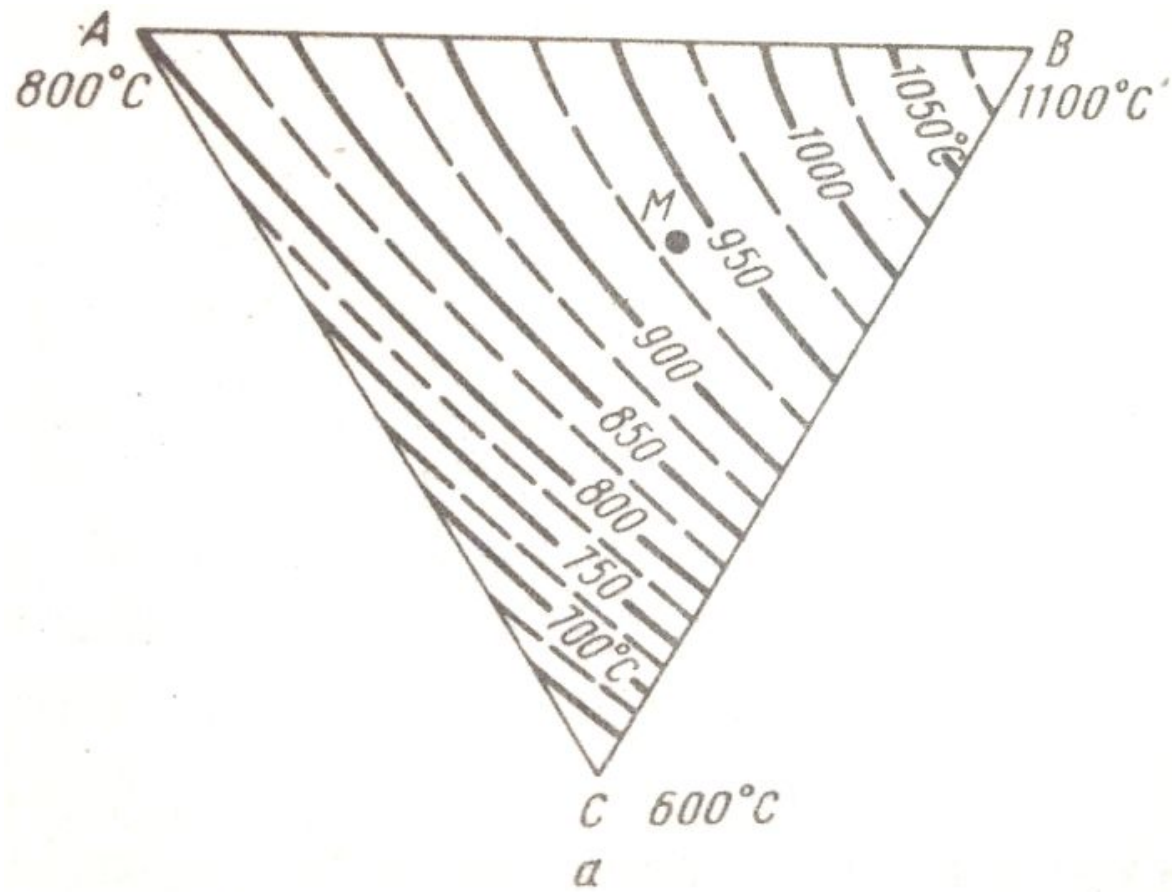
Все сплавы, расположенные на одной изотерме солидуса, заканчивают кристаллизацию при одной и той же температуре.



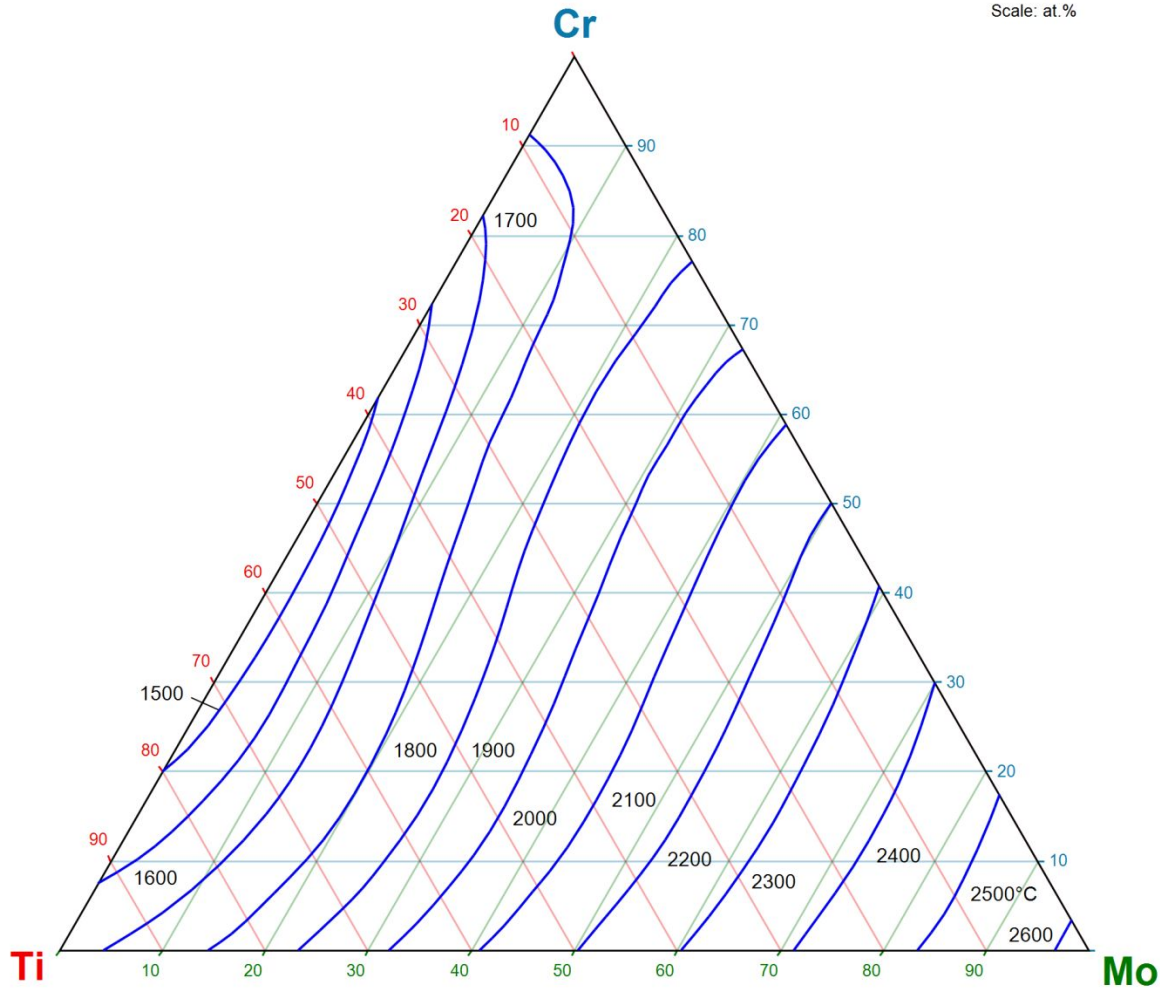
Полностью построенный изотермический разрез позволяет определять не только составы равновесных фаз, но и их доли в любом тройном сплаве при заданной температуре.


# Политермические разрезы

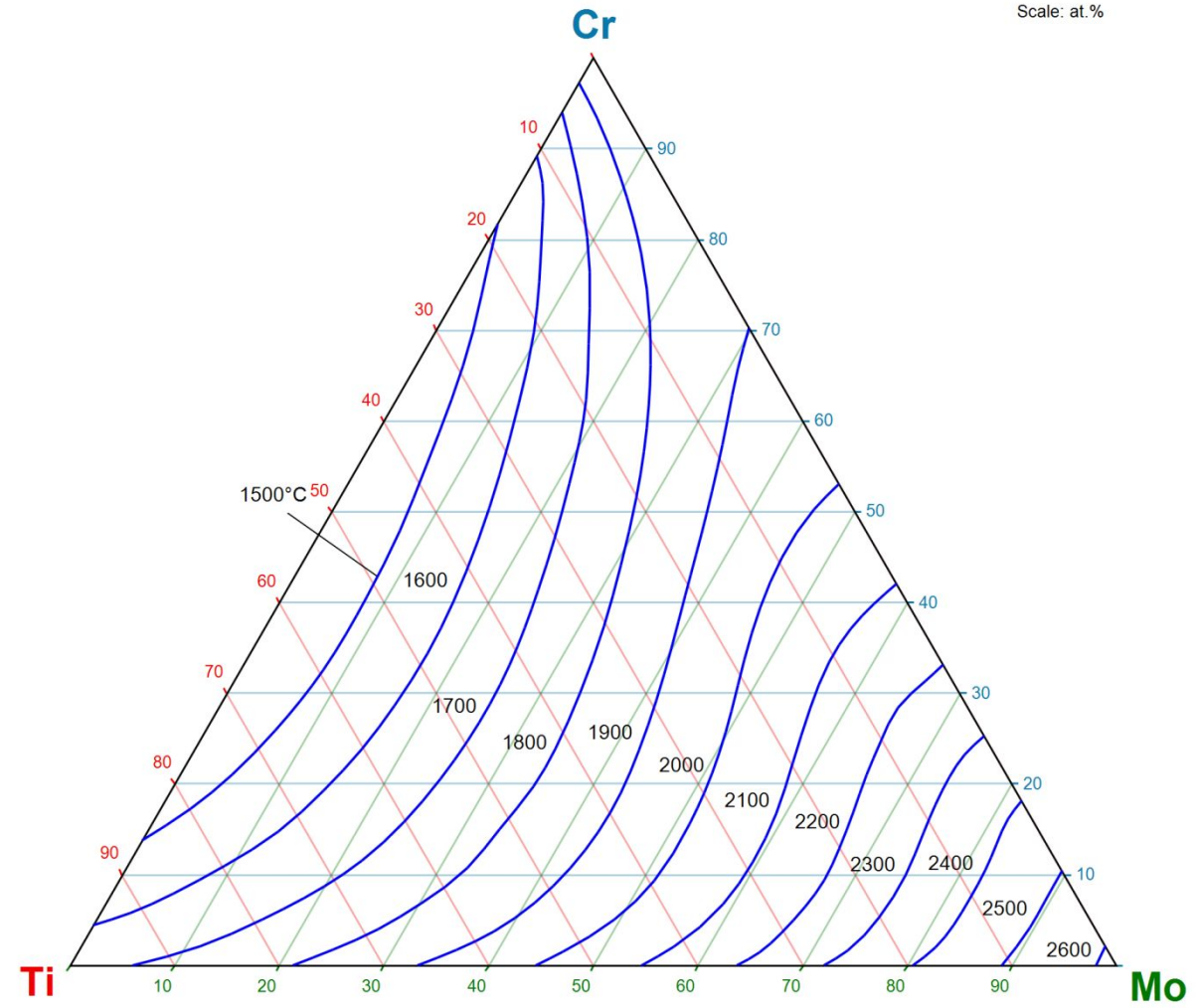









MSI  Fig. 1: Liquidus surface projection



MSI  Fig. 2: Solidus surface projection



1. По заданному составу определить положение сплава на концентрационном треугольнике.
2. Для этого сплава построить кривую охлаждения
3. На каждом характерном участке кривой охлаждения указать число степеней свободы
4. Нарисовать структуру сплава при комнатной температуре

1 вариант 10%Mo-60%Ti-30%Cr

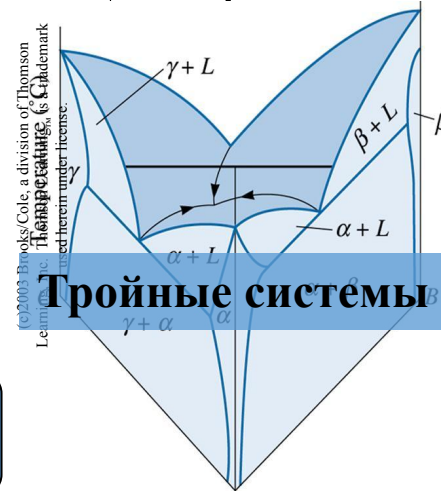
2 вариант 70%Mo-10%Cr-20%Ti

3 вариант 30%Cr-20%Ti-50%Mo

4 вариант 40%Cr-30%Mo-30%Ti

# Трехкомпонентные системы

## Классификация тройных систем



**С твердыми растворами  
на основе компонентов**

**с бивариантными  
равновесиями**

**с би- и  
моновариантными  
равновесиями**

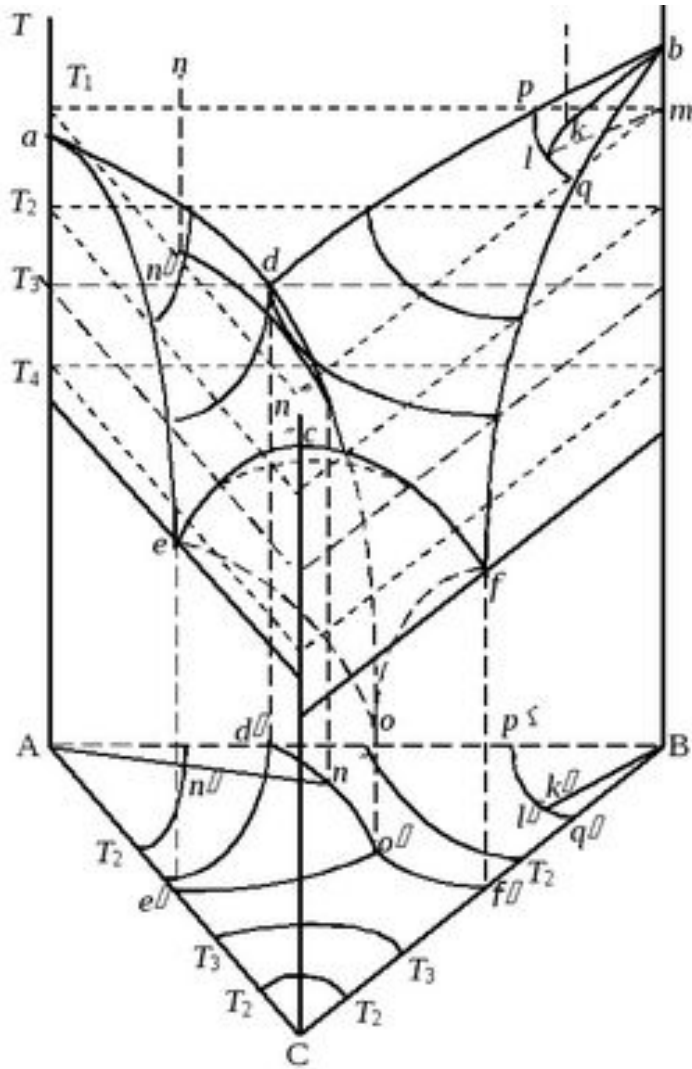
**с би-, моно- и  
новариантными  
равновесиями**

**С промежуточными фазами**

**постоянного состава**

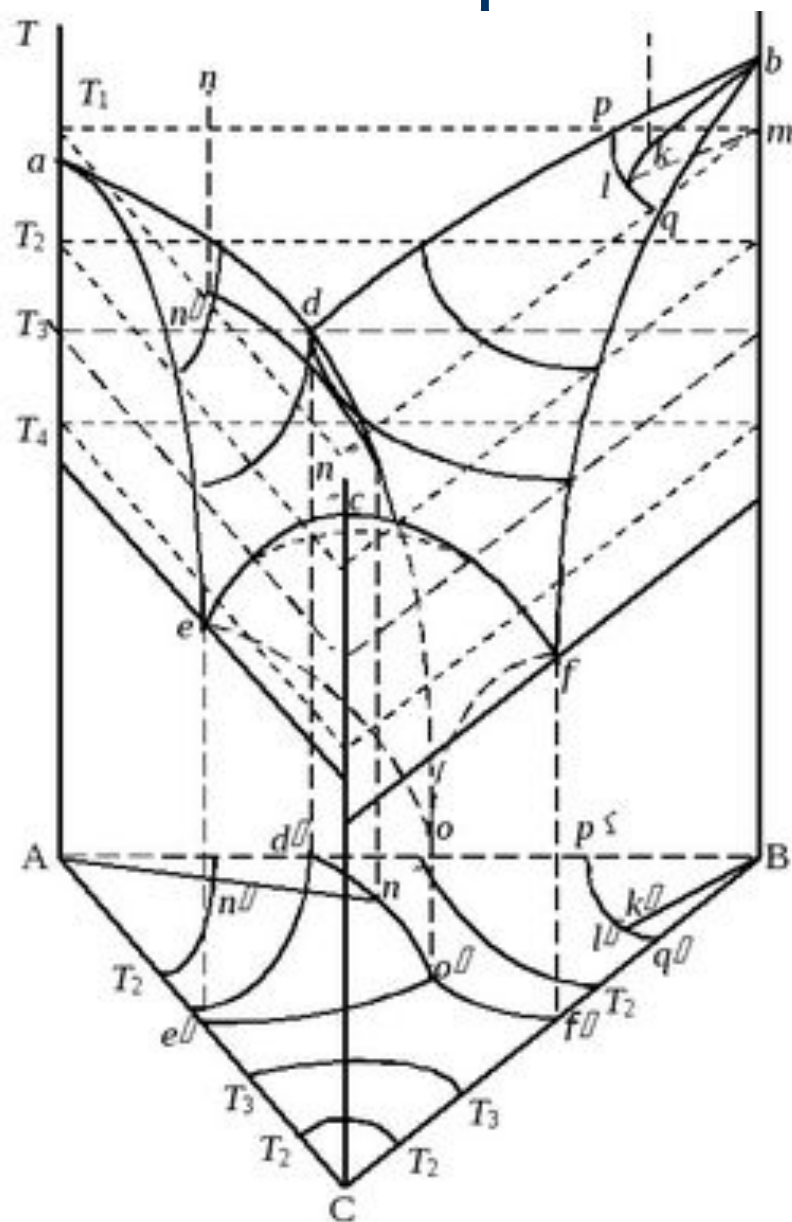
**переменного состава**

# Диаграмма состояния системы с инвариантным эвтектическим равновесием

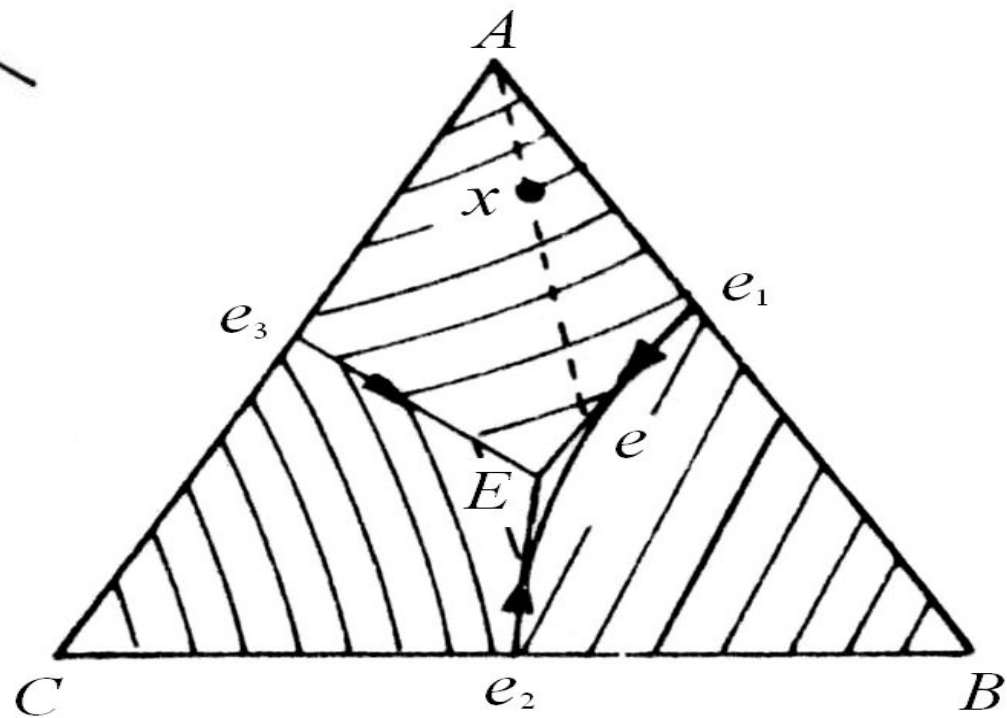
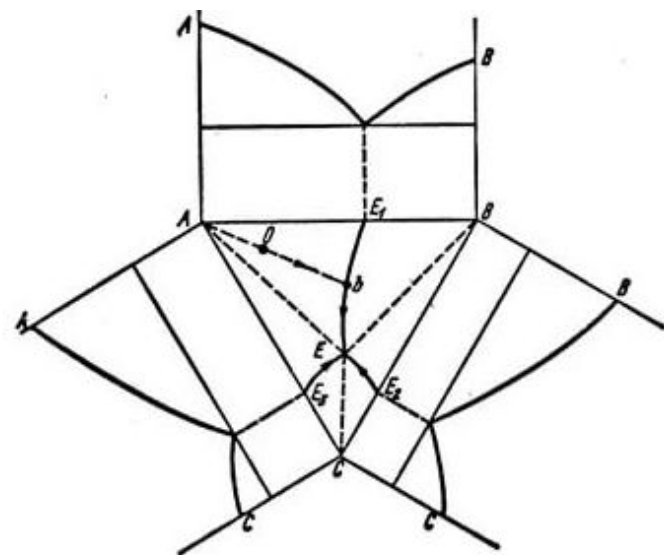
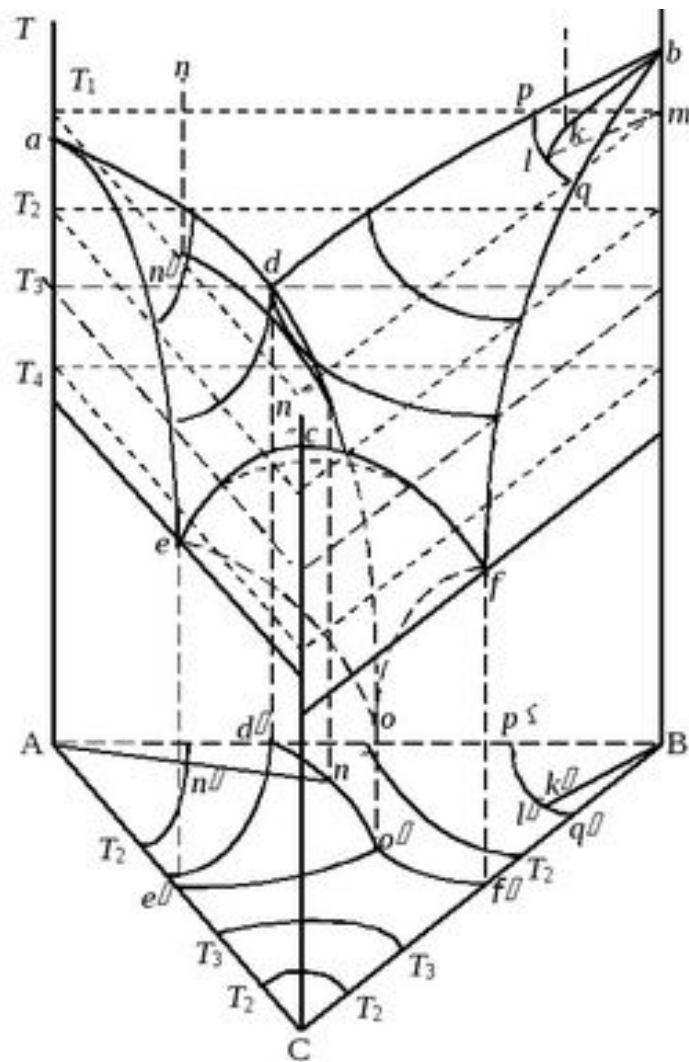


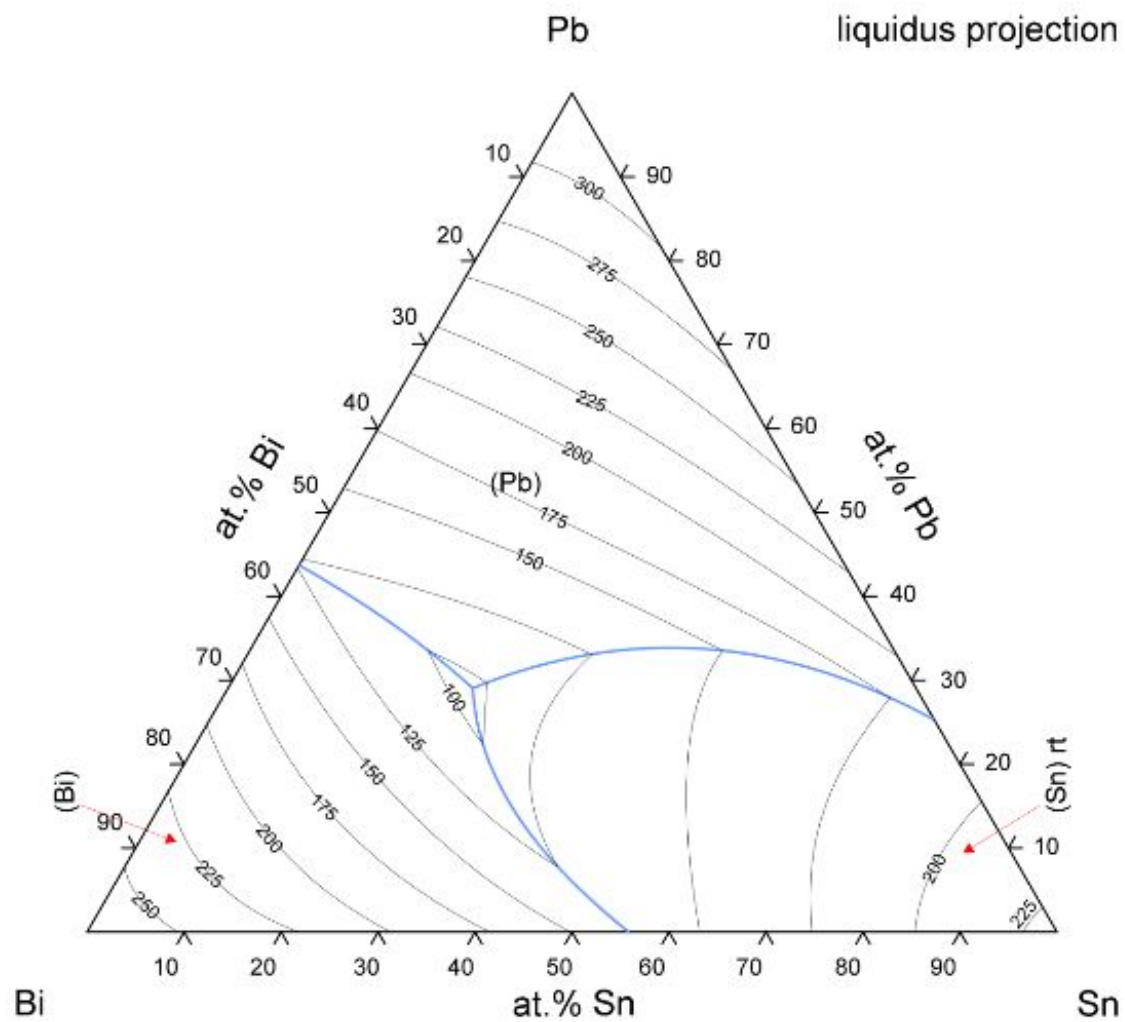
Кристаллизация всех тройных сплавов (при отсутствии растворимости в твердом состоянии) заканчивается при постоянной температуре, равной температуре кристаллизации тройной эвтектики. Поскольку жидкая фаза при этой температуре в любом тройном сплаве отвечает эвтектическому составу (т. Е) и затвердевает с образованием эвтектики, то горизонтальная плоскость, проходящая через Е является плоскостью солидуса и проекция этой плоскости совпадает с плоскостью концентрационного треугольника.

# Трехкомпонентная диаграмма



1. Пространство, соответствующее однофазному состоянию жидкого раствора.
2. Три пространства первичной кристаллизации чистых компонентов, соответствующие двухфазному состоянию.
3. Три пространства кристаллизации двойных эвтектик, соответствующие трехфазному состоянию.
4. Пространство, соответствующее твердому сплаву, состоящему из трех типов твердых кристаллов А, В, С.





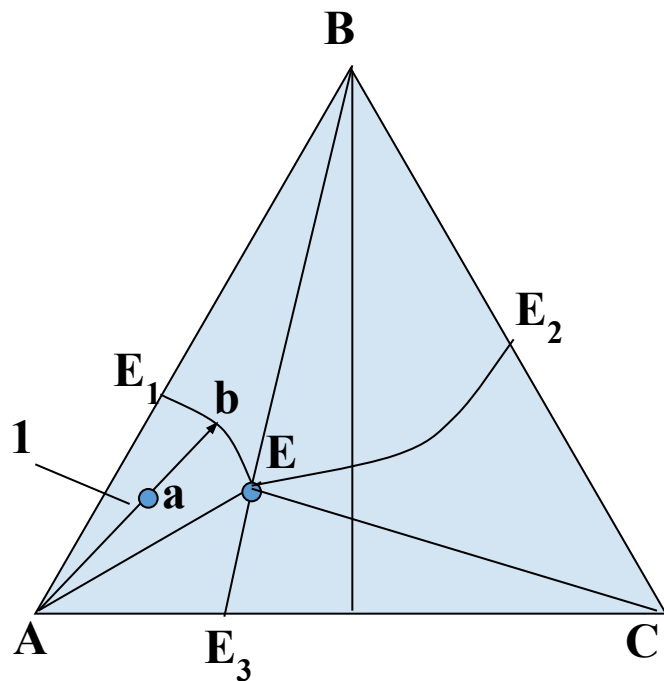
■ = Single-phasefield

■ = Three-phasefield

... = Boundariesofavailabledatawithinthiselements system



# Структурные поля трехкомпонентной системы с эвтектикой



$E_1$  – двухкомпонентная эвтектика между А и В

$E_2$  - двухкомпонентная эвтектика между В и С

$E_3$  - двухкомпонентная эвтектика между А и С

Е – трехкомпонентная эвтектика между А,В,С

Область  $AE_1E$  – кристаллы А+2-ая эвтектика АВ+ 3-ая эвтектика АВС

Область  $AE_3E$  – кристаллы А + 2-ая эвт АС+3-ая эвтектика АВС

Область  $BE_1E$  – кристаллы В +2-ая эвт АВ + 3-я эвтектика АВС

Область  $BE_2E$  – кристаллы В +2-ая эвт ВС + 3-я эвтектика АВС

Область  $CE_2E$  – кристаллы С +2-ая эвт ВС + 3-я эвтектика АВС

Область  $CE_3E$  – кристаллы С +2-ая эвт АС + 3-я эвтектика АВС

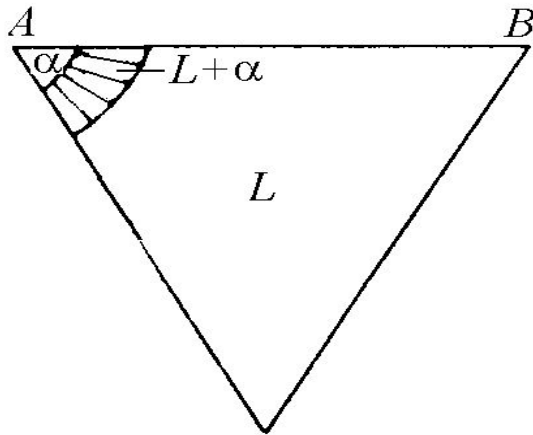
Линия АЕ – кристаллы А+3-ая эвтектика АВС

Линия ВЕ – кристаллы В+3-ая эвтектика АВС

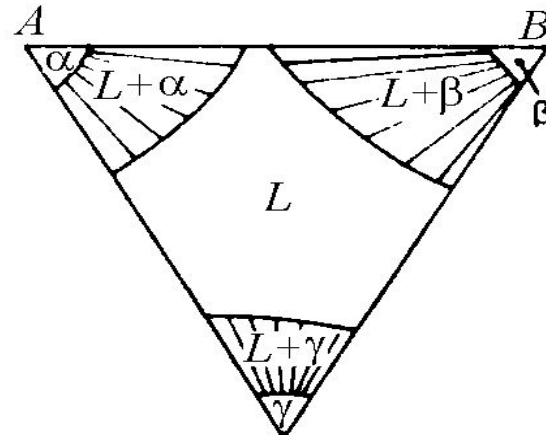
Линия СЕ – кристаллы С+3-ая эвтектика АВС



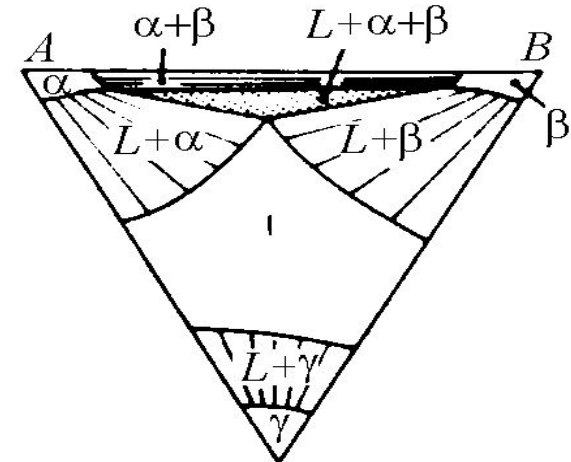
# Изотермические сечения



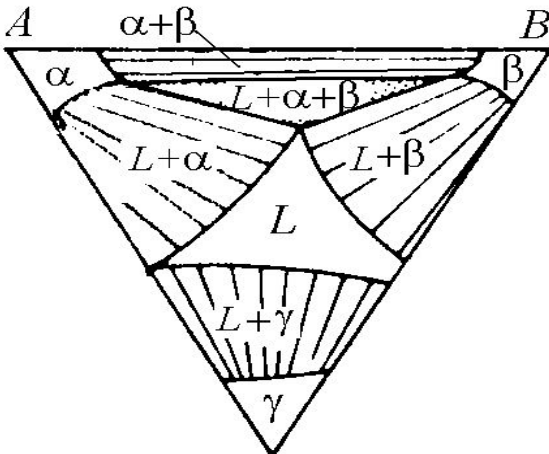
$T_A > T > T_B$   
a



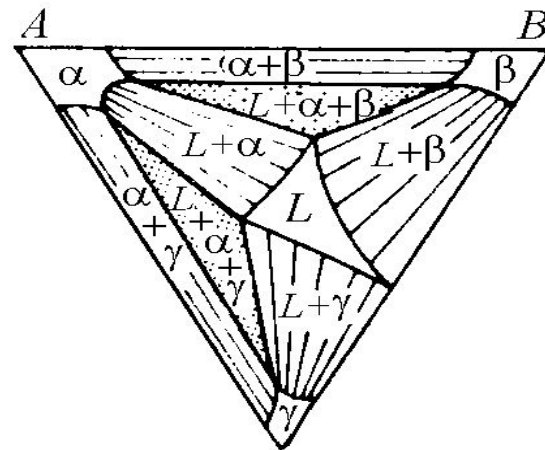
$T = e_1$   
б



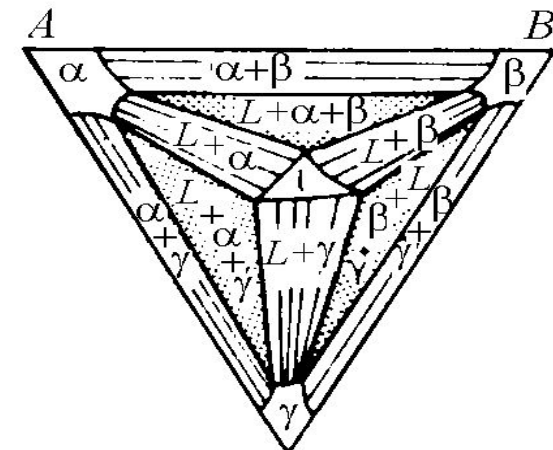
$e_1 > T > e_3$   
в



$T = e_3$   
г



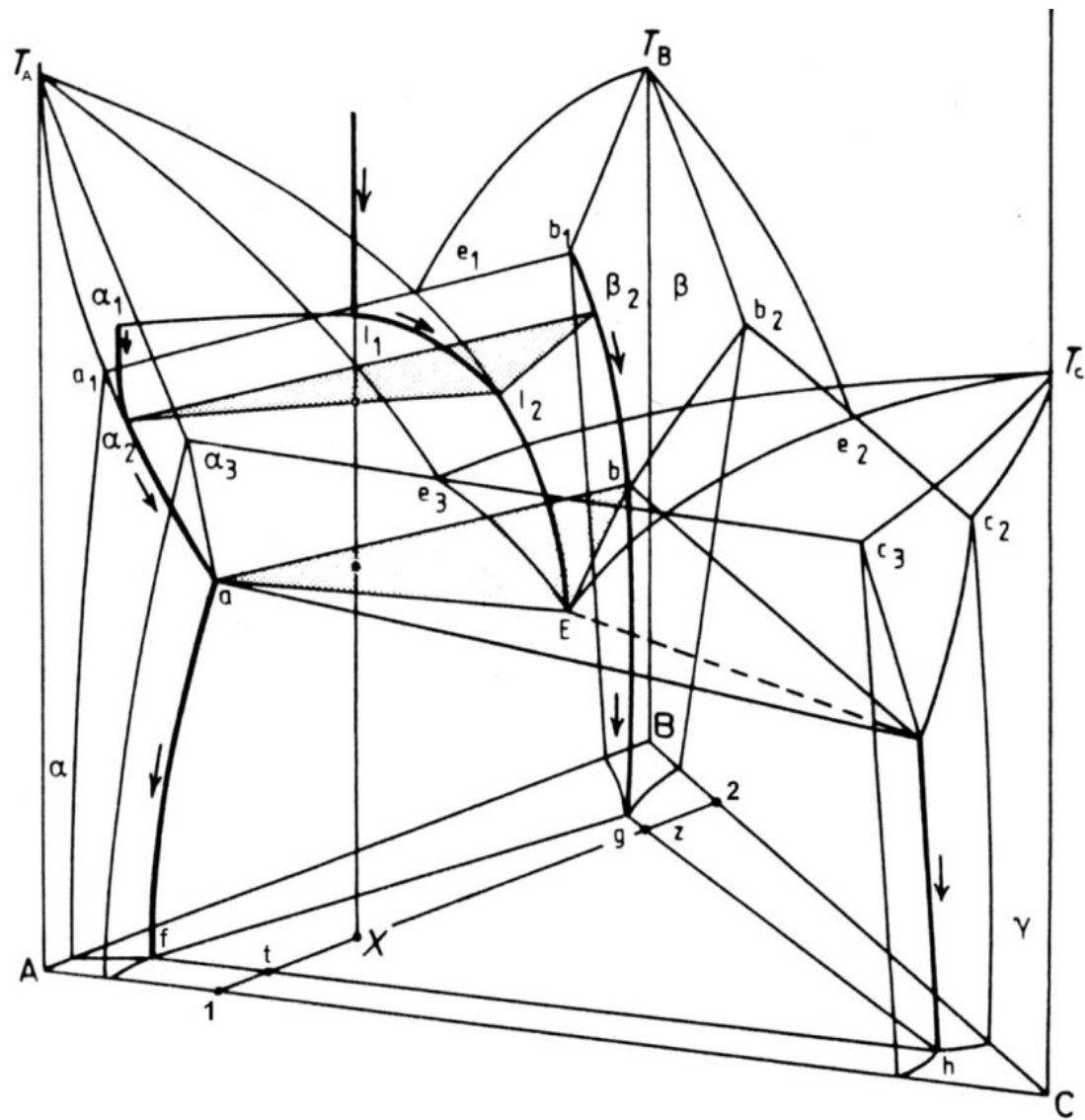
$T = e_2$   
д



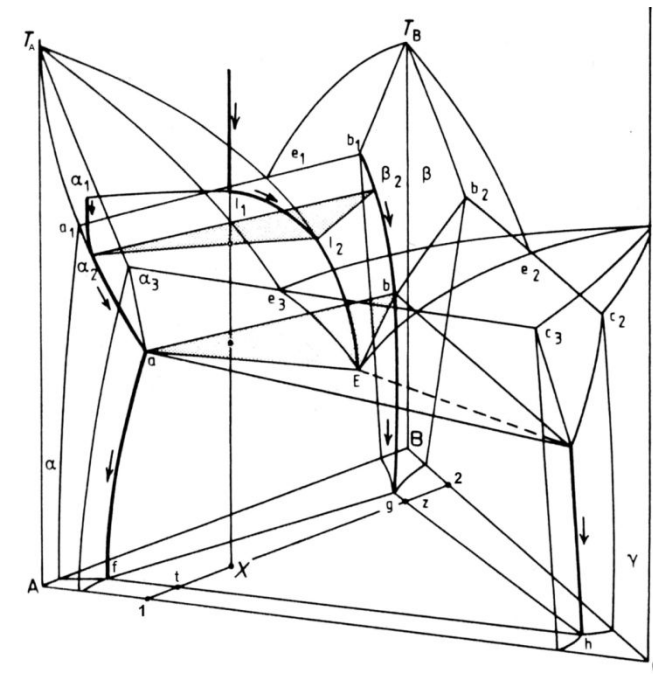
$e_2 > T > E$   
е

Видео

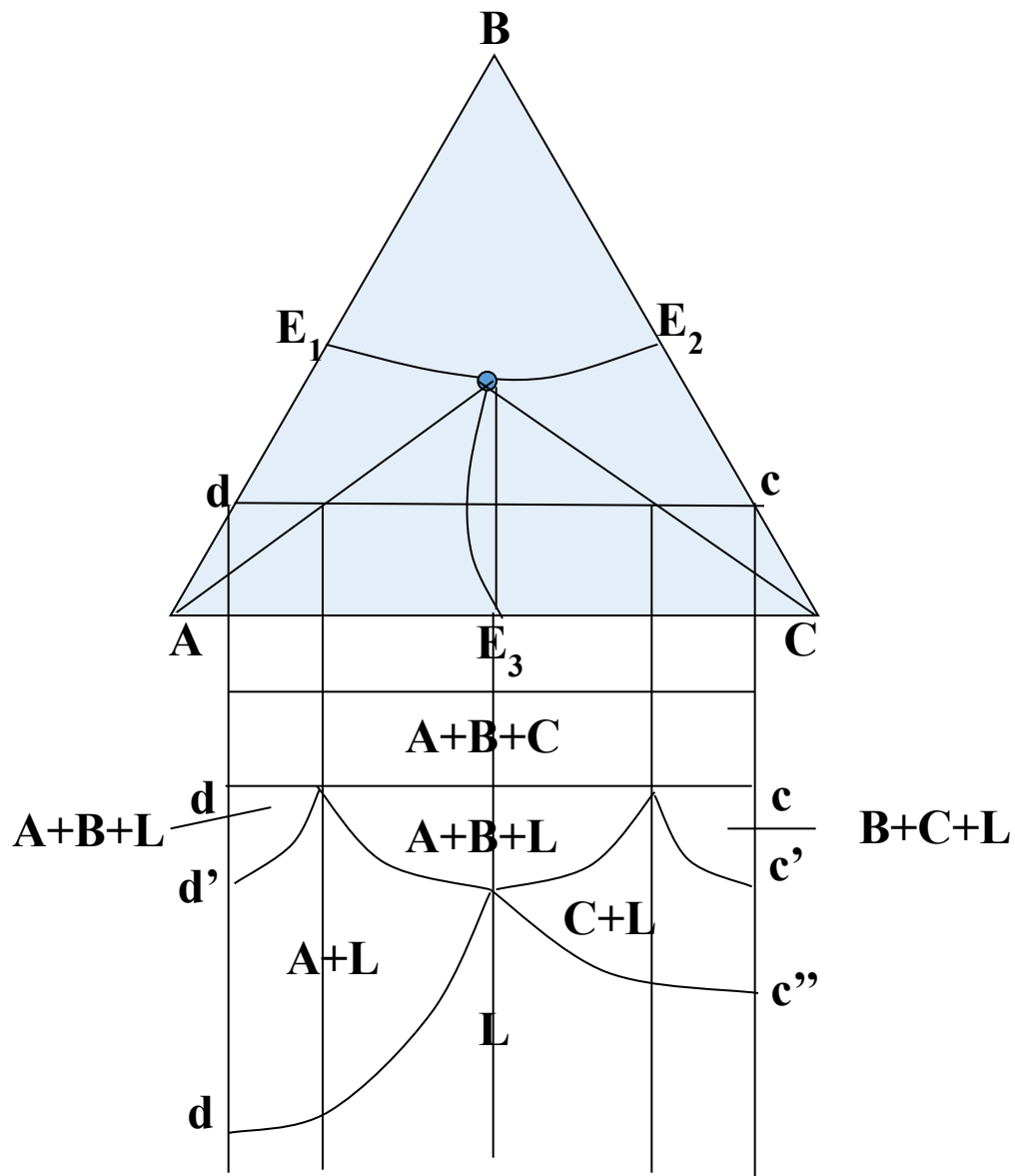
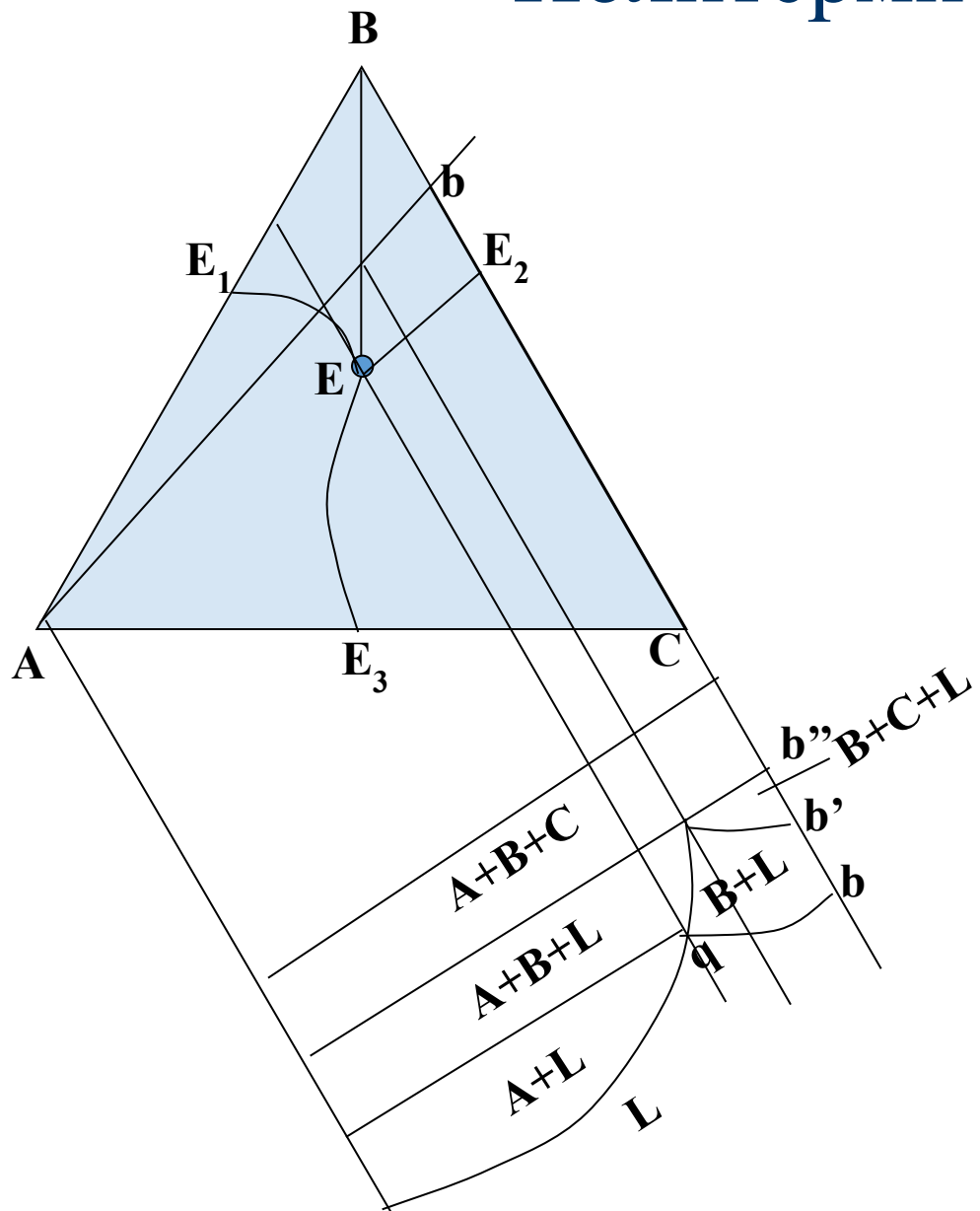
# Изотермические разрезы при разных температурах



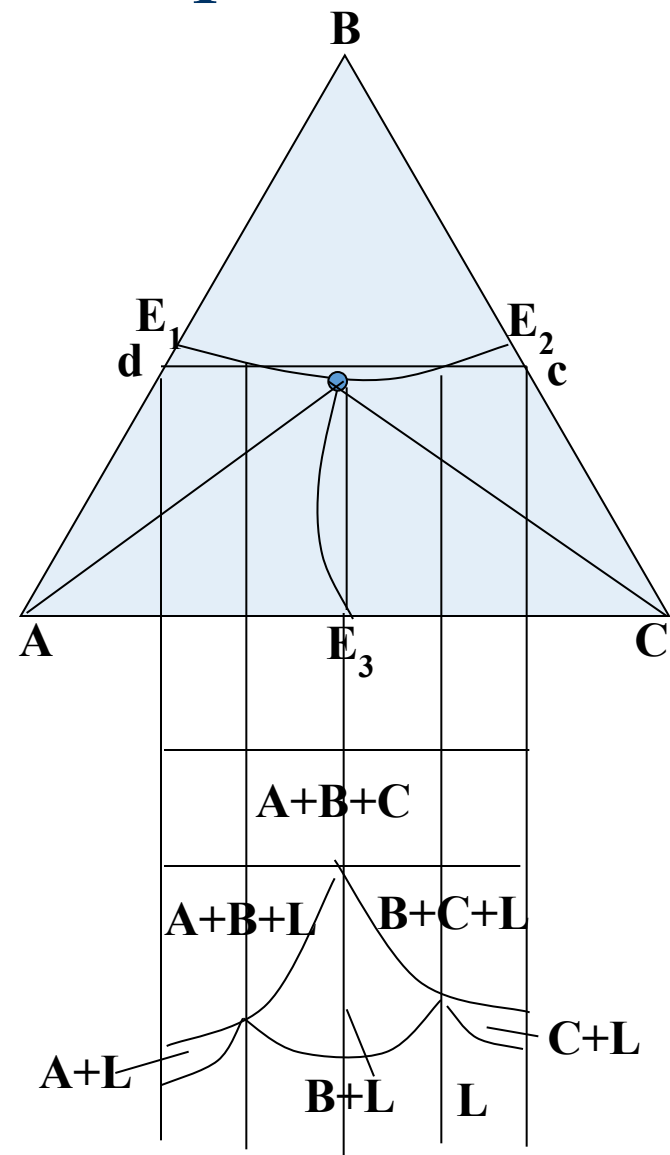
# Политермические разрезы + кривые охлаждения



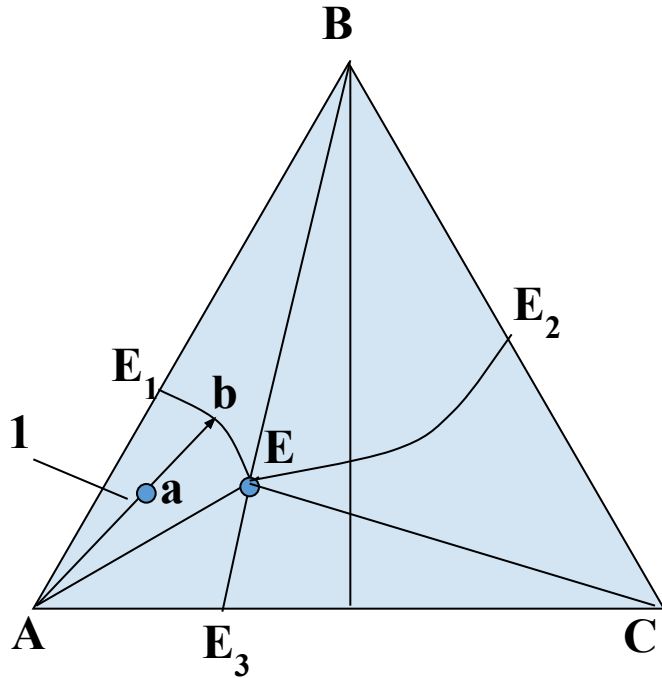
# Полиэтермические сечения



# Политермические сечения



# Кристаллизация сплавов в трехкомпонентной системе



В точке  $a$  — начало кристаллизации кристаллов  $A$

От  $a$  до  $b$  — кристаллизация кристаллов  $A$

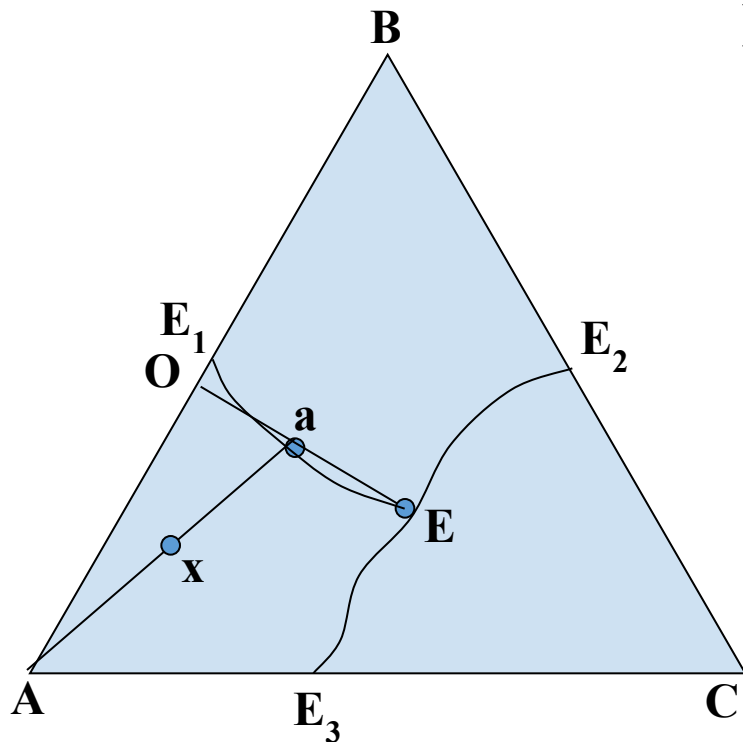
В точке  $b$  — начало кристаллизации двойной  
эвтектики  $AB$

От  $b$  до  $E$  — кристаллизация двойной эвтектики

В точке  $E$  — начало и конец кристаллизации тройной  
эвтектики  $ABC$



# Определение количества структурных составляющих в трехкомпонентных ДСС с эвтектикой



Количество кристаллов

$$A = \frac{ax}{Aa} \cdot 100\%$$

Количество жидкости

$$L = \frac{Ax}{Aa} \cdot 100\%$$

Количество двойной эвтектики

$$\frac{aE}{OE} \cdot (100 - A)\%$$

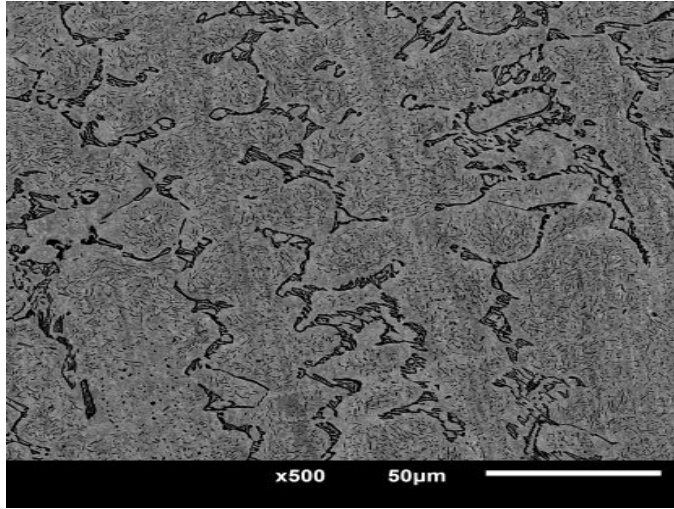
Количество тройной эвтектики

$$\frac{aO}{OE} \cdot (100 - A)\%$$

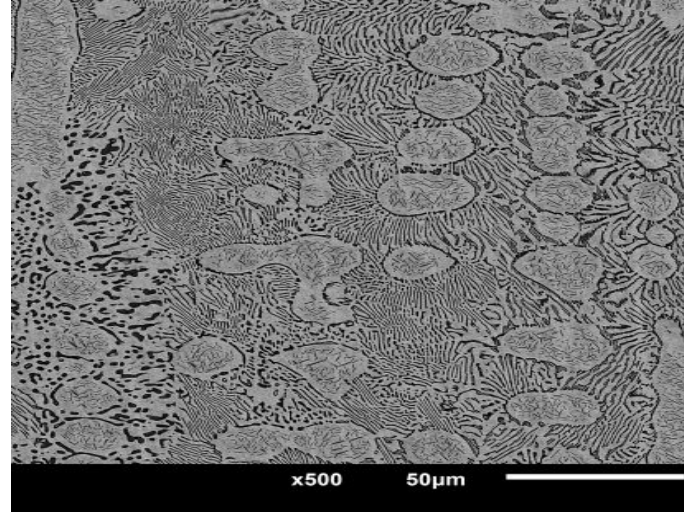


# Изучение структуры сплавов системы Ni-Si-Be

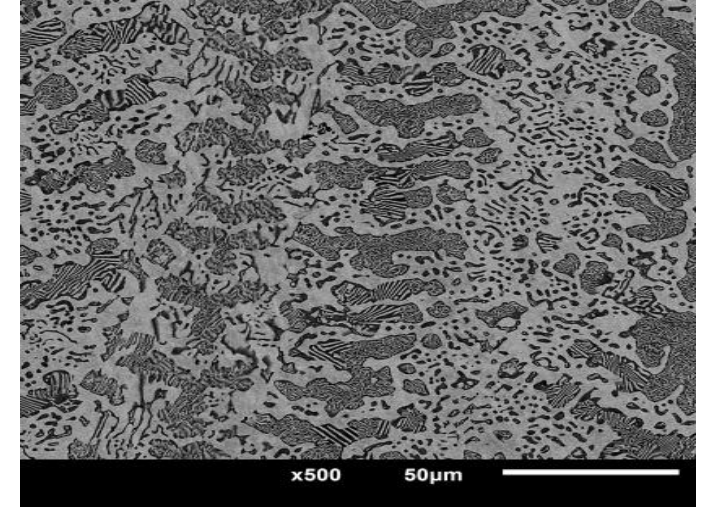
Ni-4Si-2Be



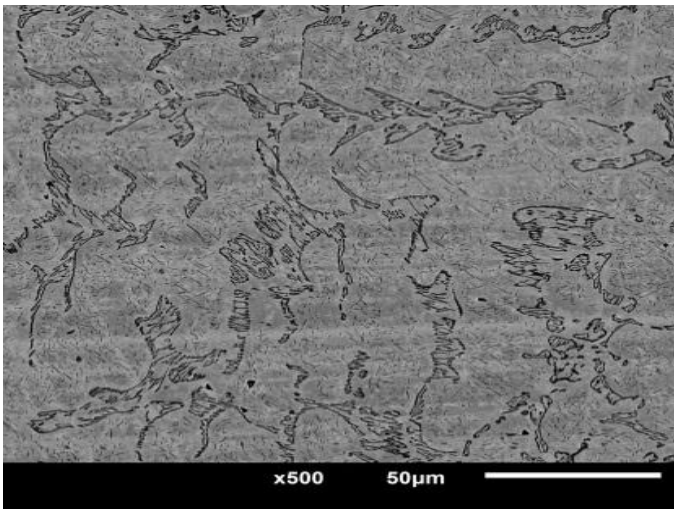
Ni-4Si-3Be



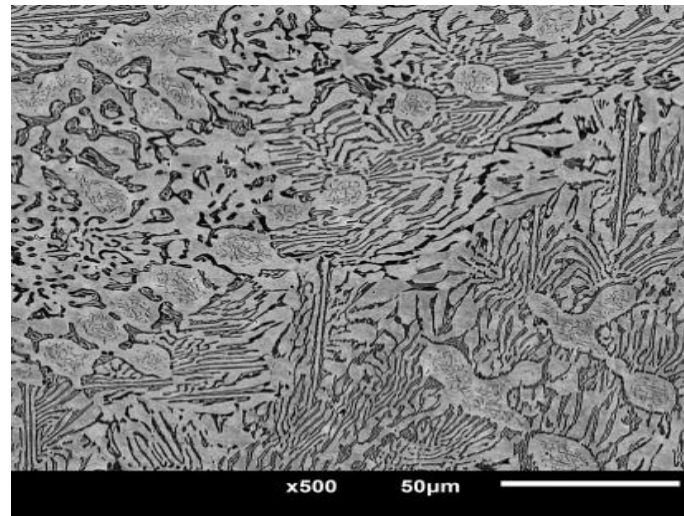
Ni-4Si-4Be



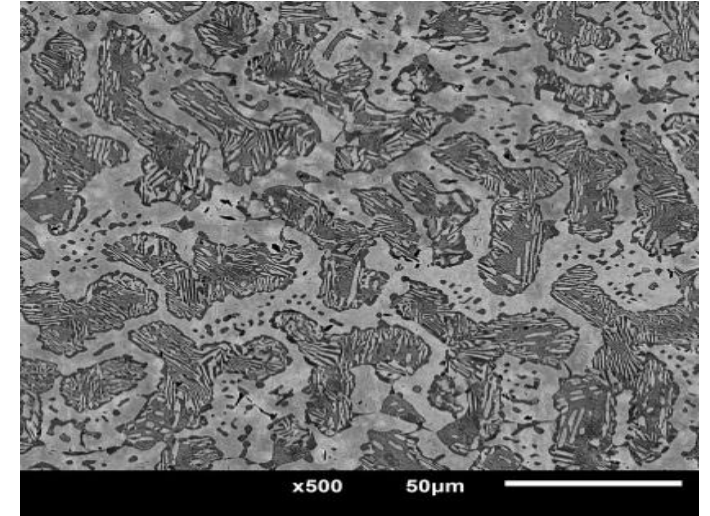
Ni-5Si-2Be

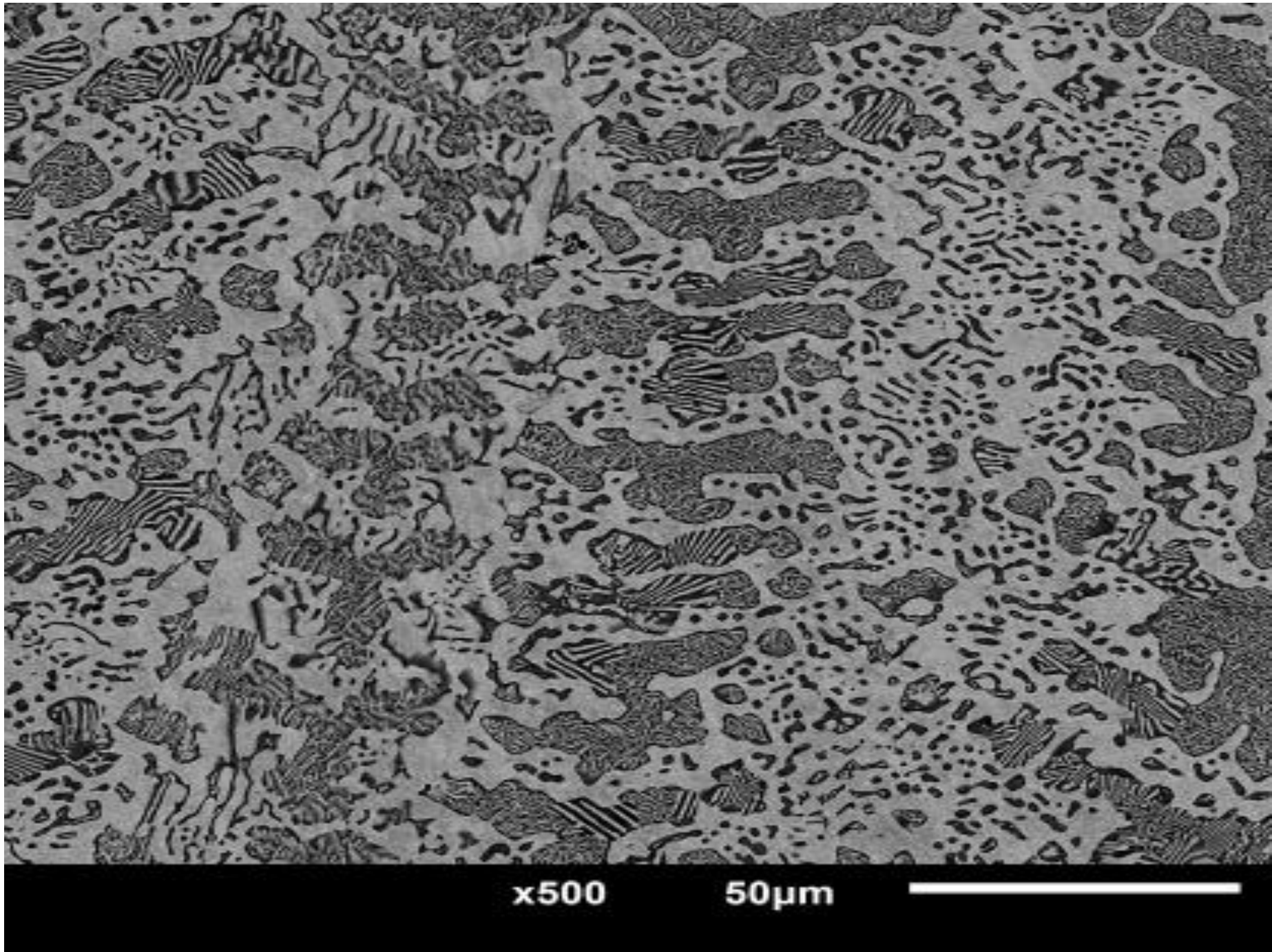


Ni-5Si-3Be



Ni-5Si-4Be





x500

50μm

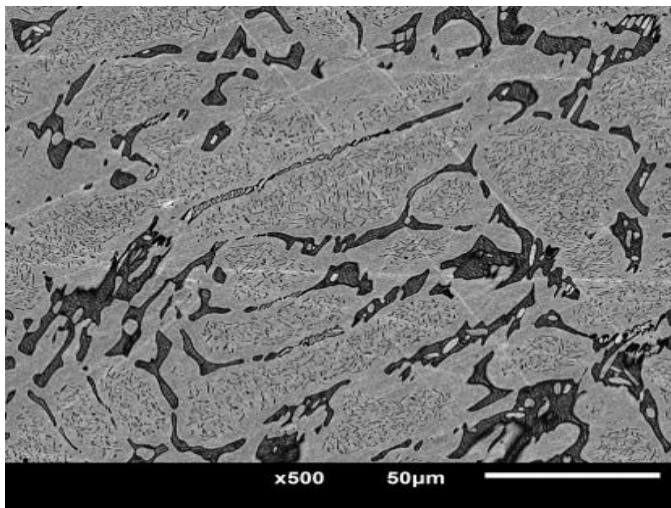


Ni-4Si-4Be

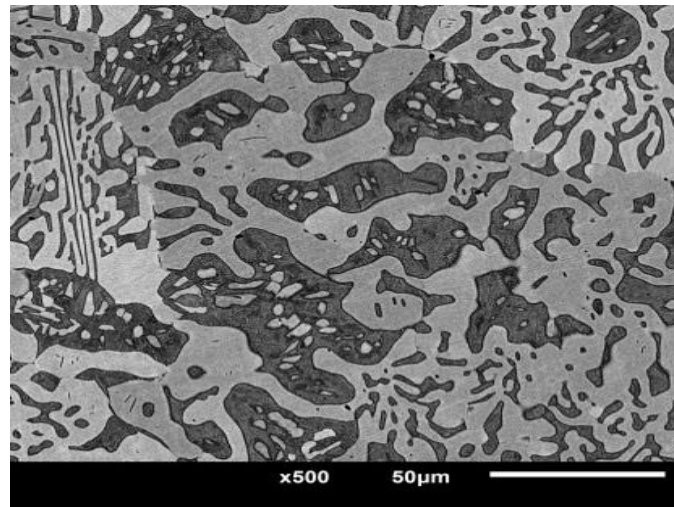


# Изучение структуры сплавов системы Ni-Si-Be

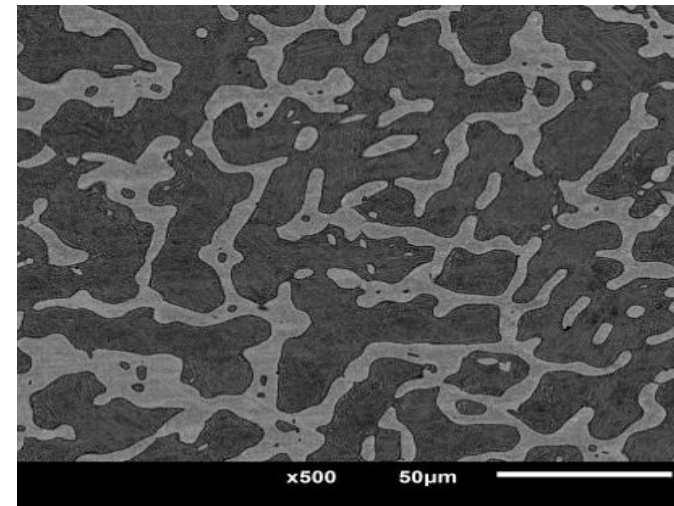
Ni-6Si-2Be



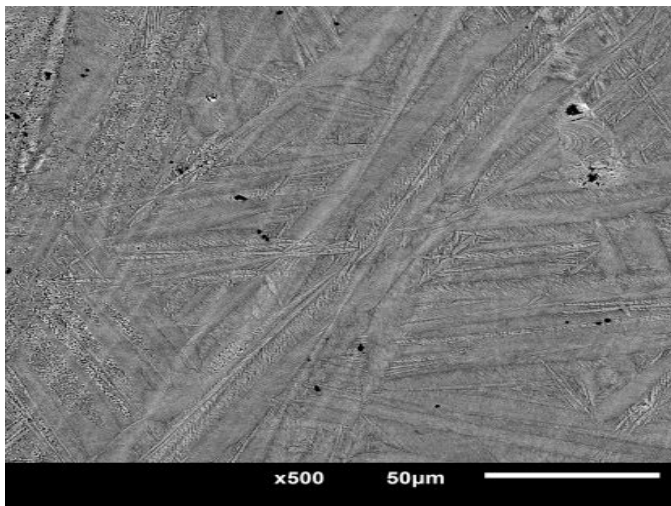
Ni-6Si-3Be



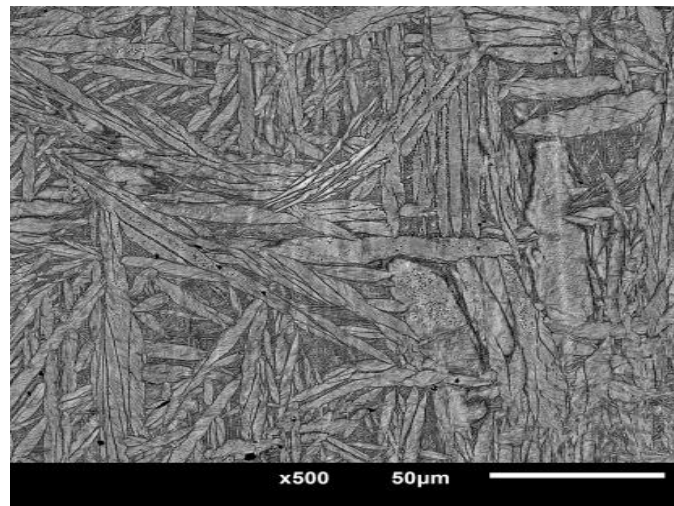
Ni-6Si-4Be



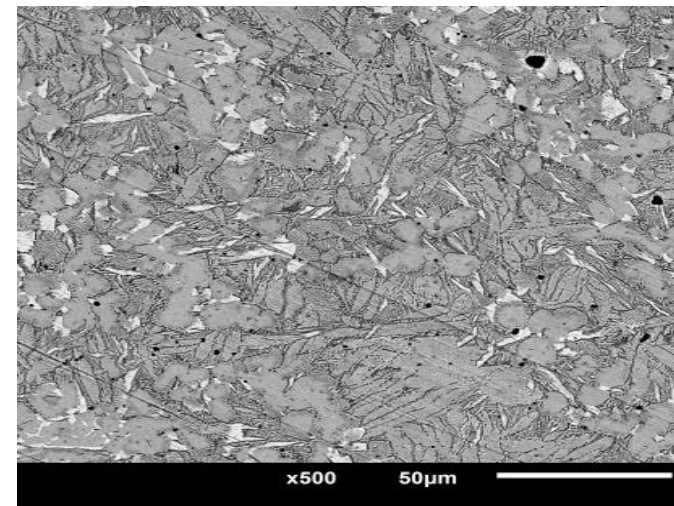
Ni-6Si-5Be



Ni-7Si-4Be

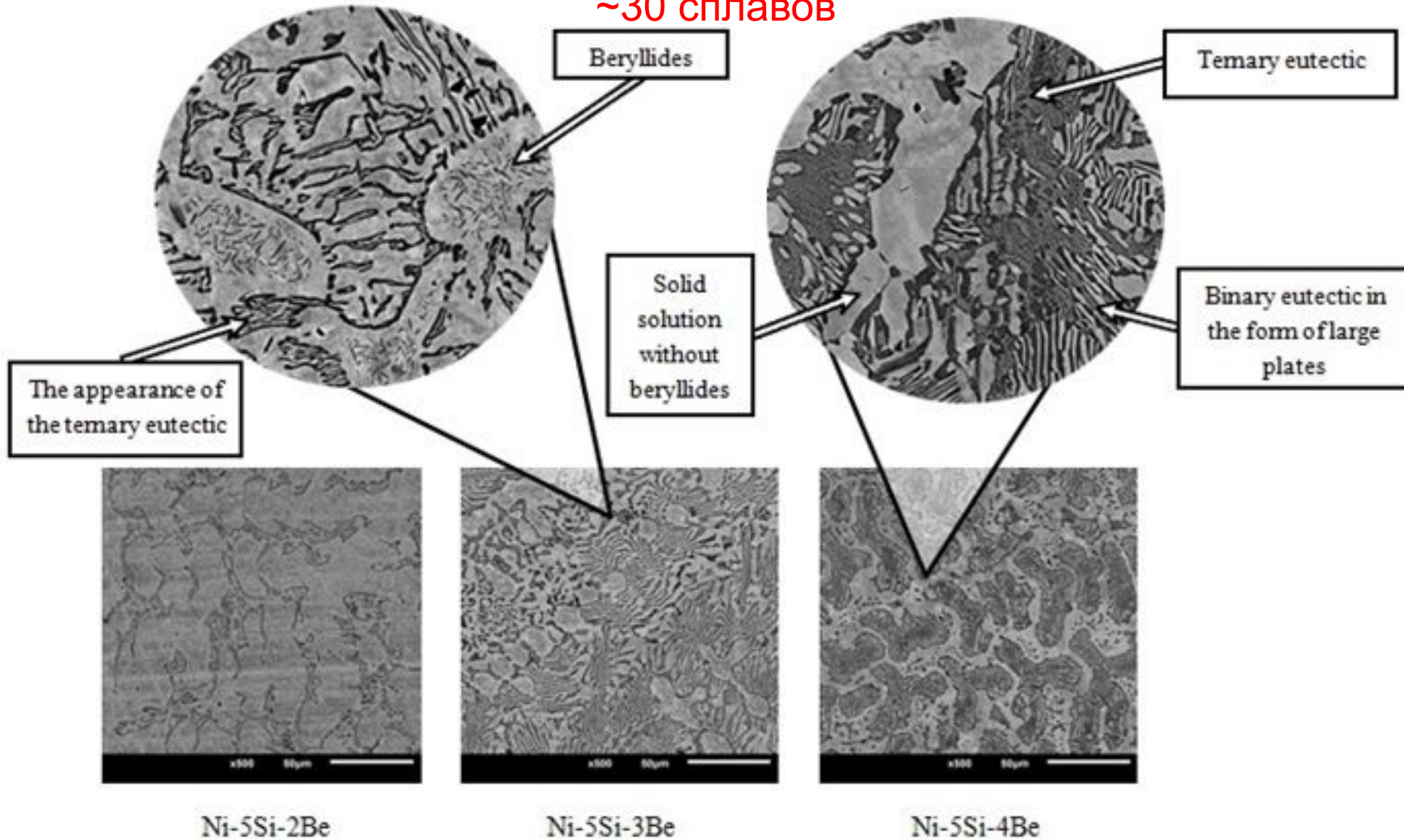


Ni-8Si-4Be

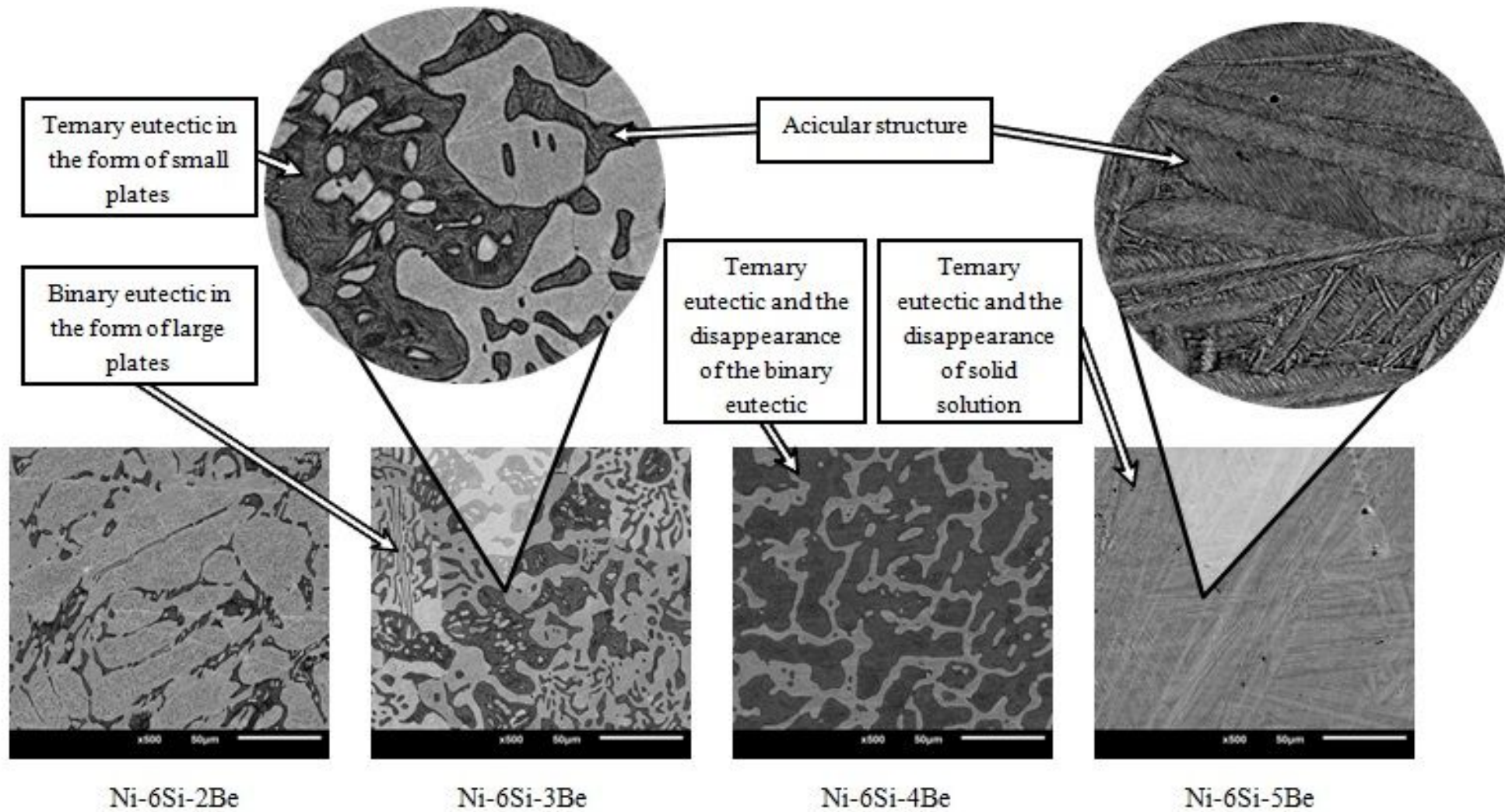


# Изучение структуры сплавов системы Ni-Si-Be

~30 сплавов

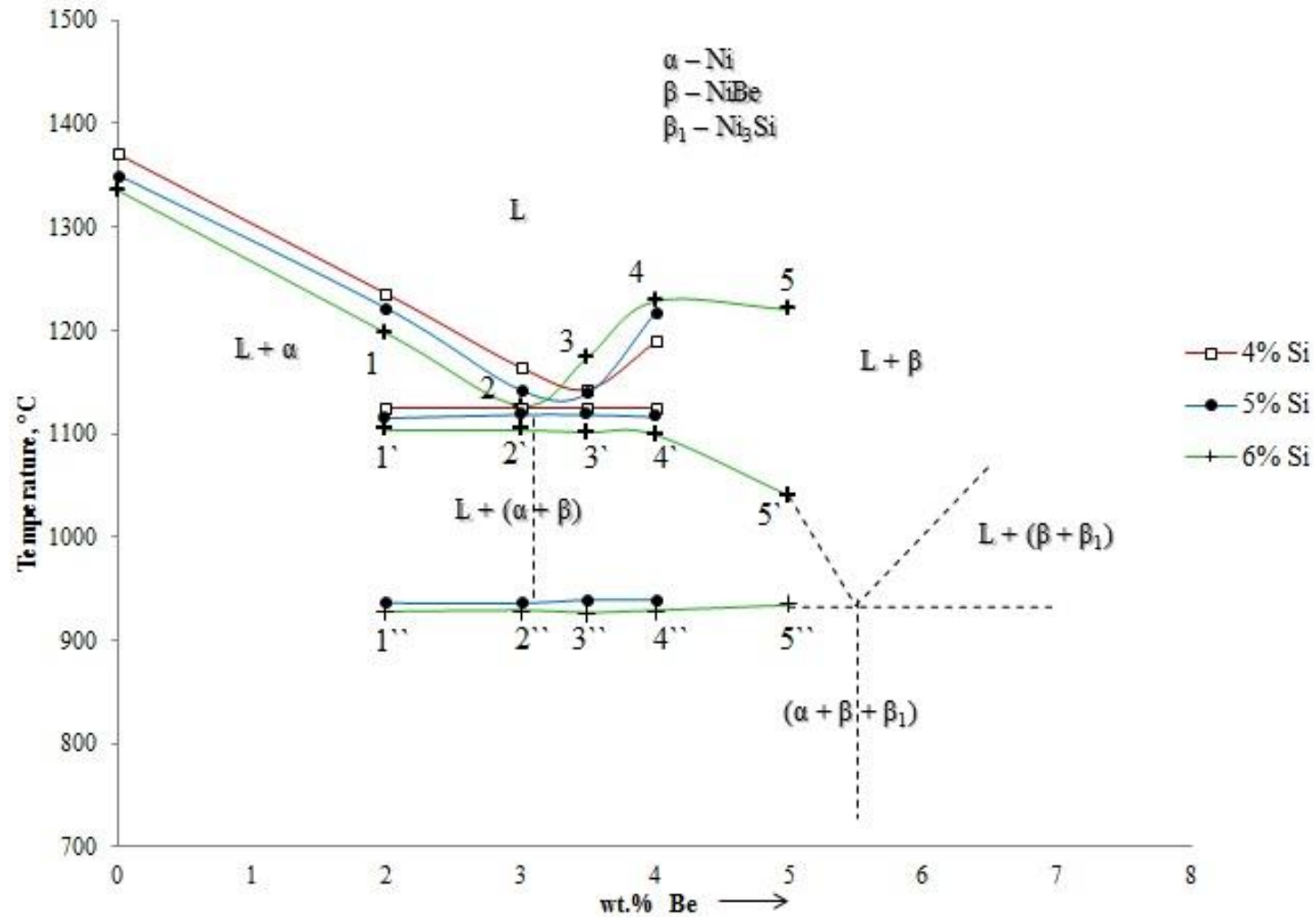


# Изучение структуры сплавов системы Ni-Si-Be





# Изучение фазовых равновесий в сплавах системы Ni-Si-Be



Диаграммы плавления участков политермического разреза тройной системы Ni-Si-Be с фиксированным содержанием кремния (4; 5 и 6 масс. %).



Спасибо за внимание!