



Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Самарский государственный технический университет»**

---

Факультет Машиностроения, металлургии и транспорта  
Кафедра «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы»

## Раздел 4

# **ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ**

Самара 2019 г.

# Диаграмма состояния системы с бинодальной кривой

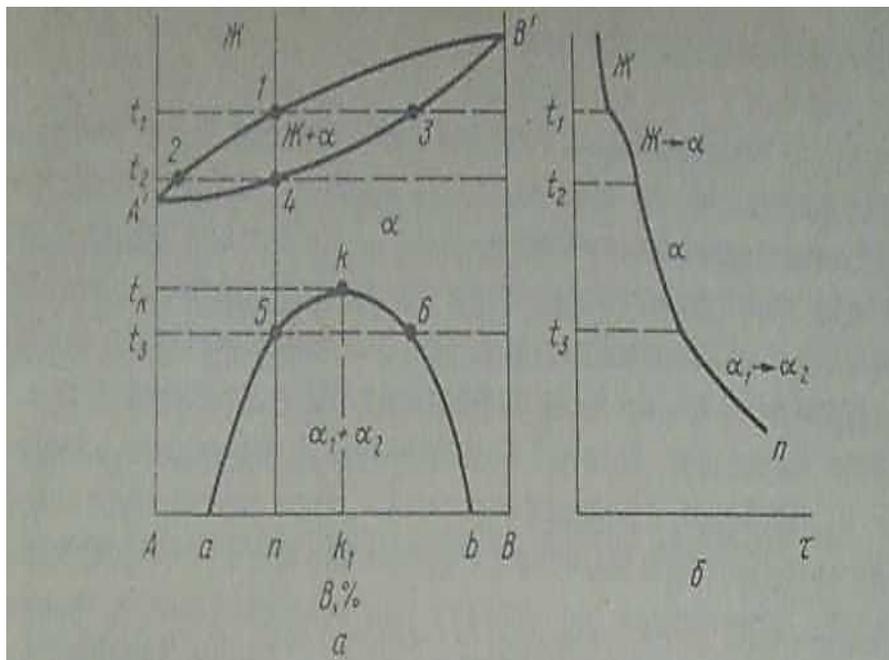
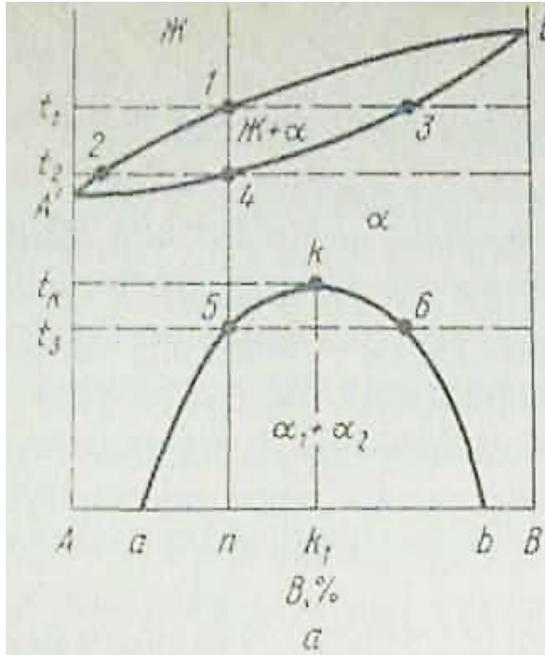


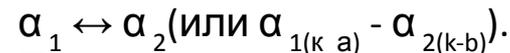
Рис.5

Сравнительно часто в системах с неограниченной растворимостью компонентов в жидком и твердом состояниях наблюдается разрыв этой растворимости при низких температурах. На диаграмме состояния такой системы (рис. 5, а) имеется двухфазная область  $\alpha_1 + \alpha_2$  в сплавах которой в интервале температур  $t_k - t_{\text{КОМН}}$  наблюдается двухфазное равновесие  $\alpha_1 \leftrightarrow \alpha_2$ . Здесь  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  - соответственно граничные растворы на основе компонентов А и В. Составы этих растворов при температурах ниже  $t_k$  изображаются ветвями  $ka$  и  $kb$  **бинодальной кривой  $akb$** . Бинодаль  $akb$  часто называют также **кривой расслоения**.

# Превращения в сплавах при переходе через бинодаль



Рассмотрим превращения в сплавах при переходе через бинодаль. Очевидно, попадая на эту кривую,  $\alpha_1$  (или  $\alpha_2$ )-раствор исходного состава становится насыщенным относительно  $\alpha_2$  (или  $\alpha_1$ )-раствора другого состава, и при понижении температуры из одного твердого раствора выделяется другой твердый раствор. Так, в сплавах участка  $a - k$  при температурах ниже кривой  $ka$  из  $\alpha_1$ -раствора, богатого компонентом А, выделяется  $\alpha_2$ -раствор, богатый компонентом В, что можно записать как  $\alpha_1 \rightarrow \alpha_2$ . Наоборот, в сплавах участка  $k - b$  при температурах ниже кривой  $kb$  из  $\alpha_2$ -раствора выделяется  $\alpha_1$ -раствор или  $\alpha_2 \rightarrow \alpha_1$ . Наконец, в сплаве  $k_1$ , отвечающем по составу критической точке  $k_1k$ , распад  $\alpha$ -раствора при понижении температуры ниже  $t_k$  можно записать как



По существу, все три записи аналогичны, так как описывают один и тот же процесс расслоения исходного  $\alpha$  (или  $\alpha_1$  или  $\alpha_2$ )-раствора на области (слои) разного химического состава ( $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ ) или, иными словами, распад исходного  $\alpha_{1(k-a)}$ -раствора с образованием другого  $\alpha_{2(k-b)}$ -раствора, в результате чего сплав из однофазного становится двухфазным  $\alpha_1 + \alpha_2$ .

# Фазовые превращения в сплаве n

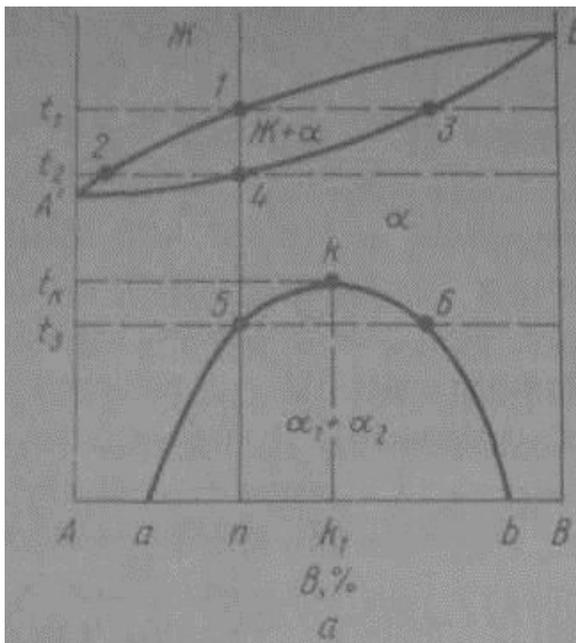
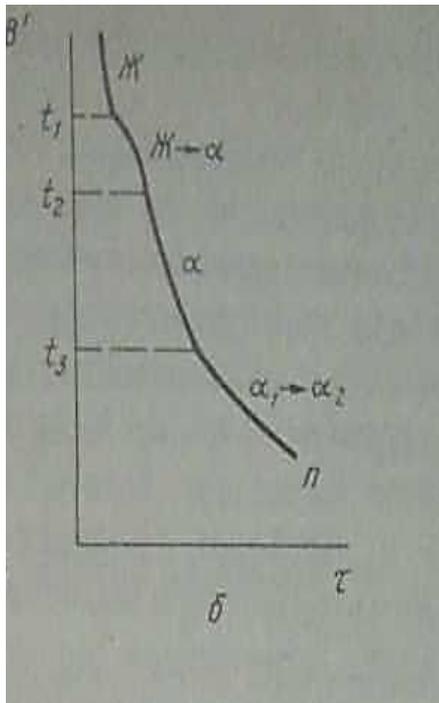


Рис.5,  
а

Графическое изображение превращений в одном из сплавов рассматриваемой системы, в частности, сплаве n показано на рис. 5, а. В интервале температур  $t_1 - t_2$  этот сплав закристаллизуется как твердый а-раствор, что можно записать как  $Ж_{1-2} \rightarrow \alpha_{3-4}$ . При охлаждении от температуры  $t_2$  до  $t_3$  в сплаве не происходит фазовых превращений. Как только температура сплава понизится до  $t_3$  (точка 5 на кривой  $ka$ ),  $\alpha_1$ -раствор состава точки 5 окажется насыщенным относительно другого  $\alpha_2$ -раствора, и при дальнейшем понижении температуры пойдет превращение  $\alpha_1 \rightarrow \alpha_2$ . Состав образующегося  $\alpha_2$ -раствора определится точкой 6 на кривой  $kb$ . При понижении температуры от  $t_3$  до комнатной состав распадающегося  $\alpha_1$ -раствора изменится по кривой  $ka$  в направлении от точки 5 к точке а, а состав выделяющегося  $\alpha_2$ -раствора - по кривой  $kcb$  в направлении от точки 6 к точке b, т.е.  $\alpha_{1(5-a)} \rightarrow \alpha_{2(6-b)}$ . Как и при кристаллизации, для протекания превращения  $\alpha_1 \rightarrow \alpha_2$  требуется переохлаждение сплава ниже кривой  $ka$ .

# Кривая охлаждения сплава n



На кривой охлаждения сплава n наблюдаются три критические точки (рис. 5, б): две верхние отвечают температурам ликвидуса и солидуса ( $t_1$  и  $t_2$ ), а нижняя ( $t_3$ ) - температуре начала распада  $\alpha_1$ -раствора.

Распад твердых растворов при понижении температуры в системах с бинадальными кривыми обусловлен усилением взаимодействия одноименных атомов  $A - A$  и  $B - B$  по сравнению с взаимодействием разноименных атомов  $A - B$ , т.е. стремлением атомов одного сорта окружить себя атомами того же сорта

Рис.5,б

# Механизмы распада пересыщенных твердых растворов

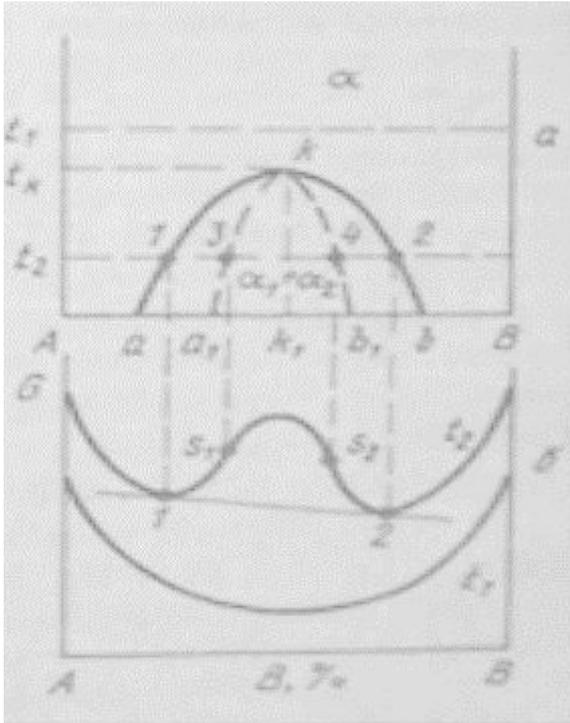


Рис. 6

Распад может идти по двум различным механизмам: а) спиnodального распада и б) образования и роста зародышей.

Особенности **спиnodального распада** поясним с помощью рис. 6, на котором в верхней части показана бинодаль  $a_1k_2b$ , а в нижней - зависимость энергии Гиббса  $\alpha$ -раствора при температурах  $t_1 > t_k$  и  $t_2 < t_k$ . При температуре  $t_1$  стабильна одна фаза и кривая энергии Гиббса  $\alpha$ -раствора на всем протяжении своей выпуклостью обращена вниз. Наоборот, при температуре  $t_2$  в интервале концентраций 1-2 стабильна не одна, а две твердые фазы составов точек 1 и 2, положение которых определяется точками касания общей касательной 1-2 к двум участкам кривой энергии Гиббса.

Участок  $1s_1s_22$  этой кривой относится к твердым  $\alpha$ -растворам, неустойчивым при температуре  $t_2$ , так как на этом участке энергии Гиббса одной фазы больше энергии Гиббса смеси двух фаз составов точек 1 и 2.

Из изложенного следует, что в сплавах, расположенных по обе стороны от критической точки  $k$ , сколь угодно малое расслоение исходного  $\alpha$ -раствора с самого начала может протекать с уменьшением энергии Гиббса. Для начала распада  $\alpha$ -раствора не требуется образования критических зародышей новой фазы, что всегда сопровождается начальным повышением энергии Гиббса. Такой распад получил название **спиnodального** и происходит сразу по всему объему кристаллов исходного твердого раствора.

# Распад с образованием и ростом зародышей новой фазы

**Распад с образованием и ростом зародышей новой фазы** в отличие от спиnodального распада происходит как образование и последующий рост зародышей новой фазы. При образовании зародышей с размерами меньше критического энергия Гиббса сплава повышается и, наоборот, рост зародышей с размерами больше критического всегда сопровождается уменьшением энергии Гиббса.

В системах с бинодальной кривой (см. рис. 6, а) распад твердого раствора с образованием и ростом зародышей протекает в сплавах, расположенных по составу между бинодалью  $a_1k_2b$  и химической спиnodалью  $a_13k_4b_1$ . Распад по этому механизму наблюдается и в других системах, в которых образующаяся фаза (например, химическое соединение) отличается от исходного твердого раствора не только составом, но и кристаллической структурой.

На начальных стадиях распада межфазные границы когерентны, на более поздних стадиях они превращаются в полу- и некогерентные, так что частицы новой фазы можно увидеть под световым микроскопом.

Распад с образованием и ростом зародышей новой фазы типичен для металлических сплавов и наиболее распространен.