

# МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Романченко Наталья  
Митрофановна,  
доцент кафедры  
«Технология машиностроения»  
ИУИС КрасГАУ

# Содержание дисциплины «Материаловедение»

- МОДУЛЬ 1. ОСНОВЫ СТРОЕНИЯ И СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ
- МОДУЛЬ 2. СПЛАВЫ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА
- МОДУЛЬ 3. ОСНОВЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
- МОДУЛЬ 4. ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ И СПЛАВЫ. ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ, НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуляев, А.П. Металловедение: учебник для вузов / А.П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.
2. Фетисов, Г. П. Материаловедение и технология металлов: учебник для вузов / Г. П. Фетисов, М. Г. Карпман, В. М. Матюнин и др.; под ред. Г. П. Фетисова. – М.: Высш. школа, 2006. – 638 с.
3. Арзамасов, Б.Н. Материаловедение: учебник для вузов / Б.Н. Арзамасов, И.И. Сидорин, Г.Ф. Косолапов и др.; под ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: изд-во МГТУ, 2003. – 648 с.
4. Сорокин, В.Г. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин, А.В. Волосников, С.А. Вяткин и др.; под ред. В.Г. Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
5. Беспалов В.Ф. Практикум по материаловедению: учеб. пособие для вузов / В.Ф. Беспалов, Н.М. Романченко. – Красноярск: КрасГАУ, 2006. – 124 с.
6. Романченко Н. М. Материаловедение: электронный учебно-методический комплекс для вузов / Н. М. Романченко, В. Ф. Беспалов. – Красноярск : КрасГАУ, [www. kgau. ru](http://www.kgau.ru) , 2006. – 302 с.

# МОДУЛЬ 1

## ОСНОВЫ СТРОЕНИЯ И СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

# ТЕМА 1.

## КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛОВ. КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ

*Металловедение* – наука, изучающая строение и свойства металлов, и устанавливающая связь между их составом, строением и свойствами.

**Черные металлы** имеют темно-серый цвет, большую плотность (кроме щелочноземельных) высокую температуру плавления, относительно высокую твердость и во многих случаях обладают полиморфизмом.

**Цветные металлы** чаще всего имеют характерную окраску: красную, желтую, белую. Обладают большой пластичностью, малой твердостью, относительно низкой температурой плавления, полиморфизм встречается редко.

# **Черные металлы** подразделяются:

1. *Железные металлы* – Fe, Co, Ni, Mn.

2. *Тугоплавкие металлы* – Mo, W, V, Ti и др.

3. *Урановые металлы*

4. *Редкоземельные металлы*– La, Ce, Y и Sc.

Их

5. *Щелочноземельные металлы* (Li, Na, K, Rb, Cs, Fr, Ca, Sr, Ba, Ra)

## **Цветные металлы** подразделяются :

1. *Легкие металлы* - Be, Mg, Al, обладающие малой плотностью.

2. *Благородные металлы* - Ag, Au, металлы платиновой группы. К ним может быть отнесена и "полублагородная" медь". Обладают высокой коррозионной стойкостью.

3. *Легкоплавкие металлы* - Zn, Cd, Hg, Sn, Bi, Tl, Sb, Ga, Ge, Pb.



Кристаллическое строение можно представить себе в виде пространственной кристаллической решетки, в узлах которой расположены атомы.

Расположение атомов в кристалле удобно изображать в виде так называемых элементарных кристаллических ячеек. Под ними подразумевается наименьший комплекс атомов, который при многократном повторении в пространстве позволяет воспроизвести пространственную кристаллическую решетку.

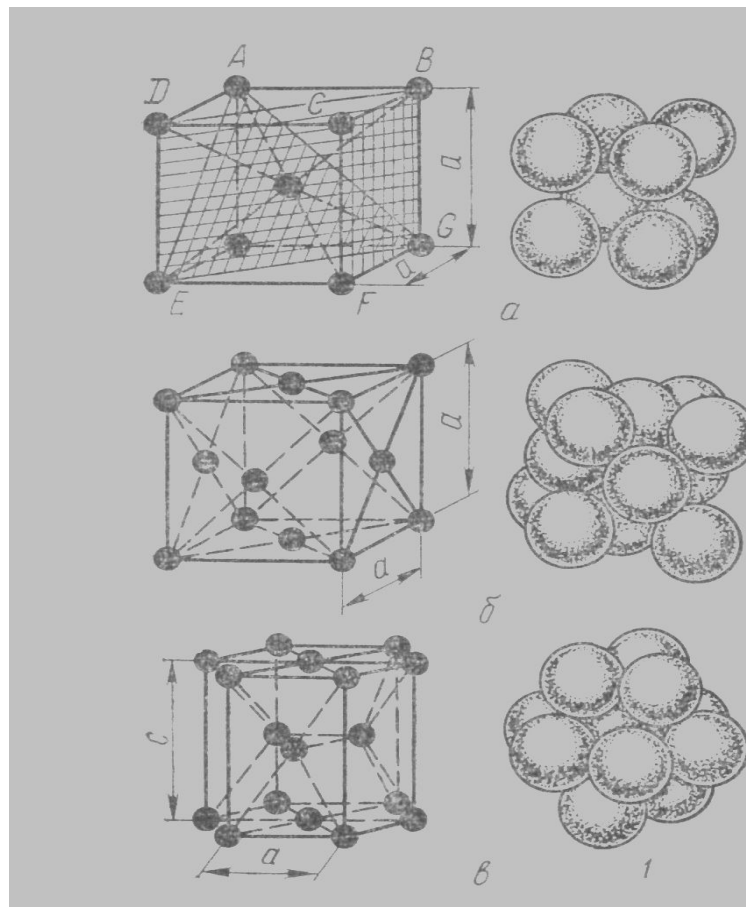


Рис. 1. Элементарные кристаллические решетки металлов:

а) объемно-центрированная кубическая (о.ц.к.);

б) гранецентрированный куб (г.ц.к.)

в) гексагональная (г.п.у.)

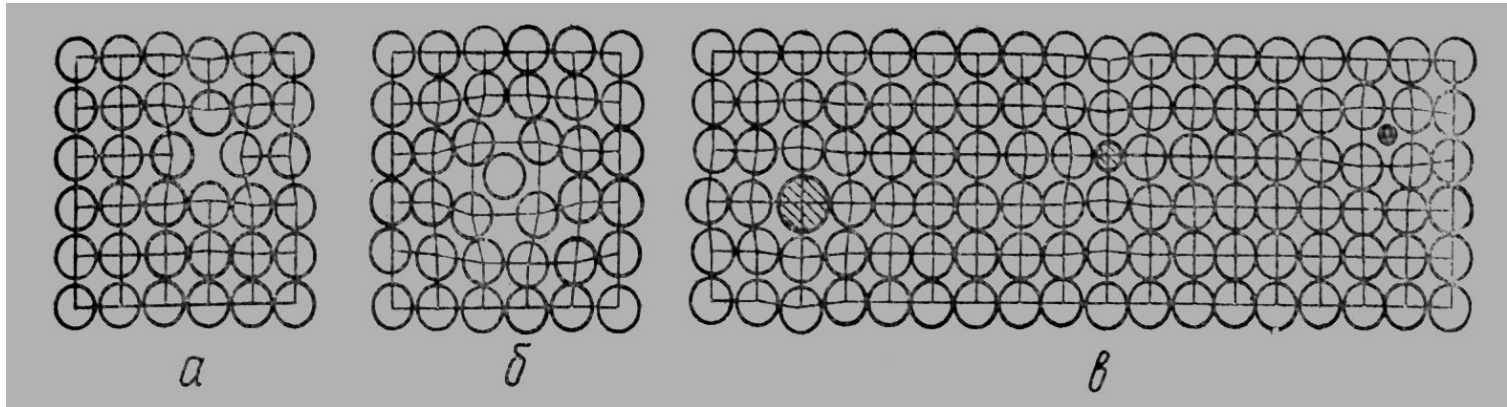


Рис. 2. Точечные дефекты в кристаллической решетке:

а – вакансия; б – дислоцированный атом;  
в – примесные атомы замещения или внедрения

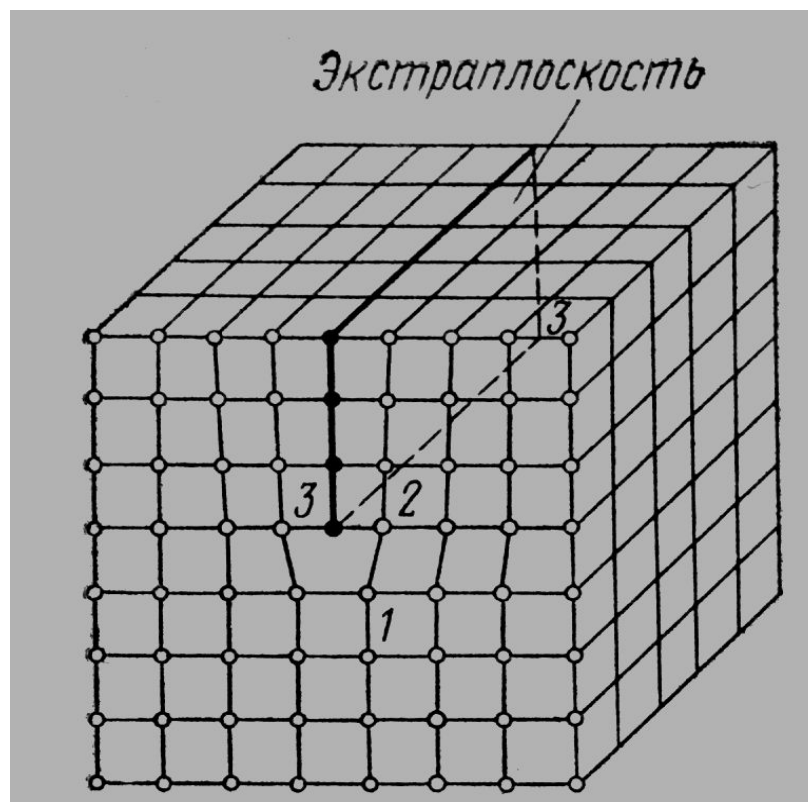


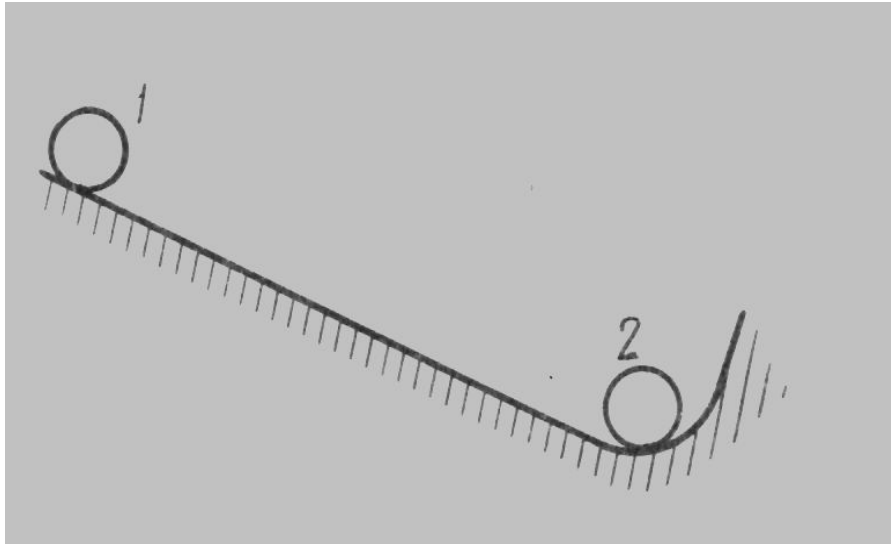
Рис. 3. Схема возникновения дислокации

*Анизотропия* – это  
неодинаковость свойств  
монокристаллов в разных  
кристаллографических  
направлениях

При переходе из **жидкого** состояния в **твердое** образуется кристаллическая решетка, возникают кристаллы. Такой процесс называется *кристаллизацией*.

Энергетическое состояние системы, характеризуется особой термодинамической функцией  $F$ , называемой *свободной энергией*

(свободная энергия  $F = U - TS$ , где  $U$  – внутренняя энергия системы;  $T$  – абсолютная температура,  $S$  – энтропия).



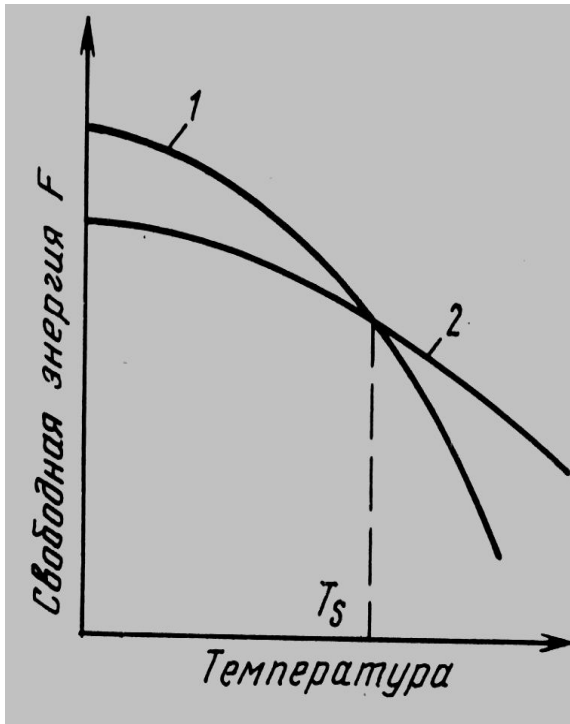


Рис. 4. Изменение свободной энергии жидкого (1) и кристаллического кристаллизации состояния (2) в зависимости от температуры

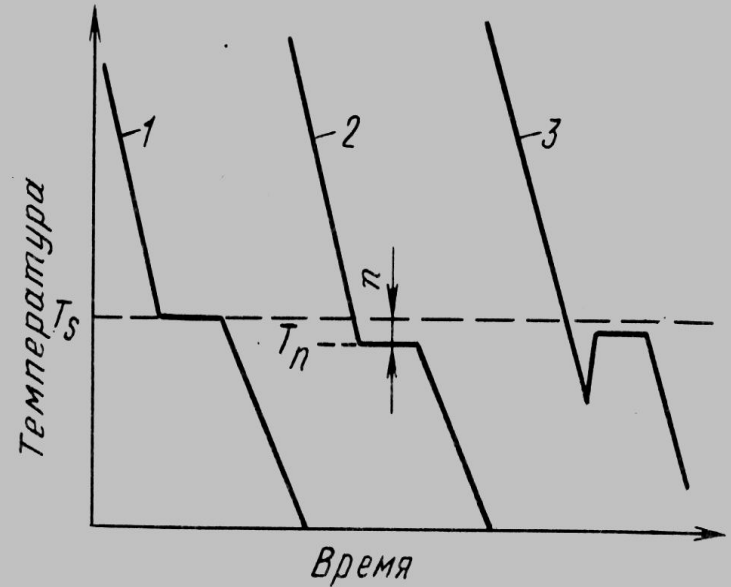


Рис. 5. Кривые при



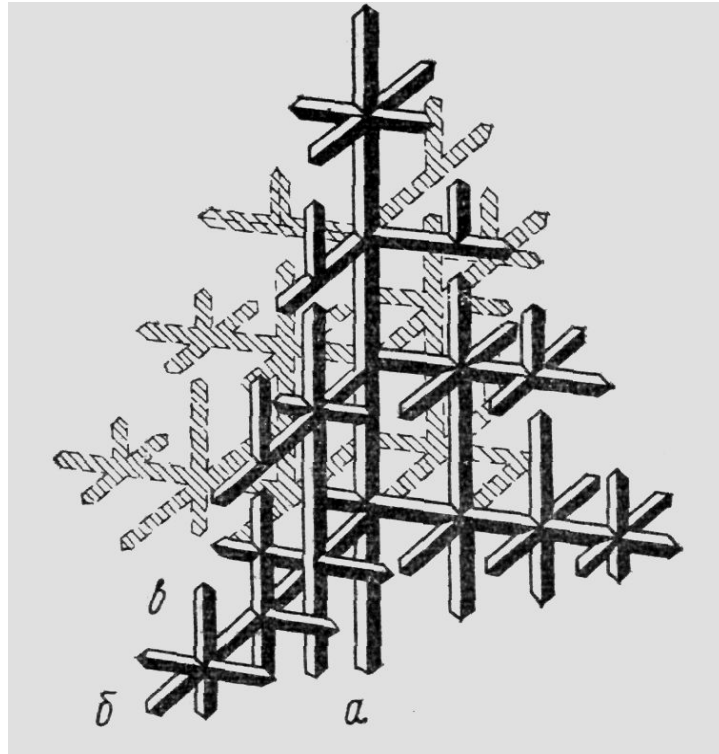


Рис. 6. Схема дендрита

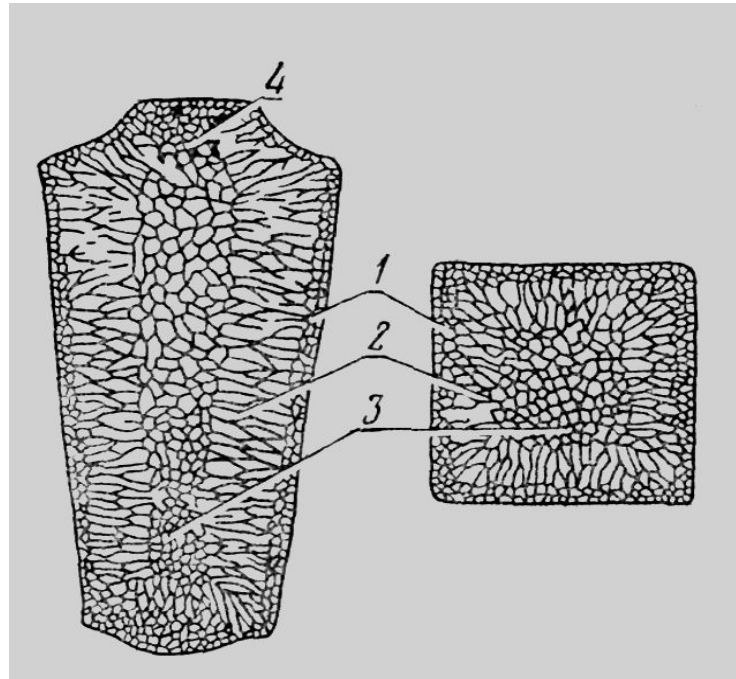


Рис. 7. Схема стального слитка

Полиморфизм или аллотропия -  
это существование одного металла  
(вещества) в нескольких  
кристаллических формах.

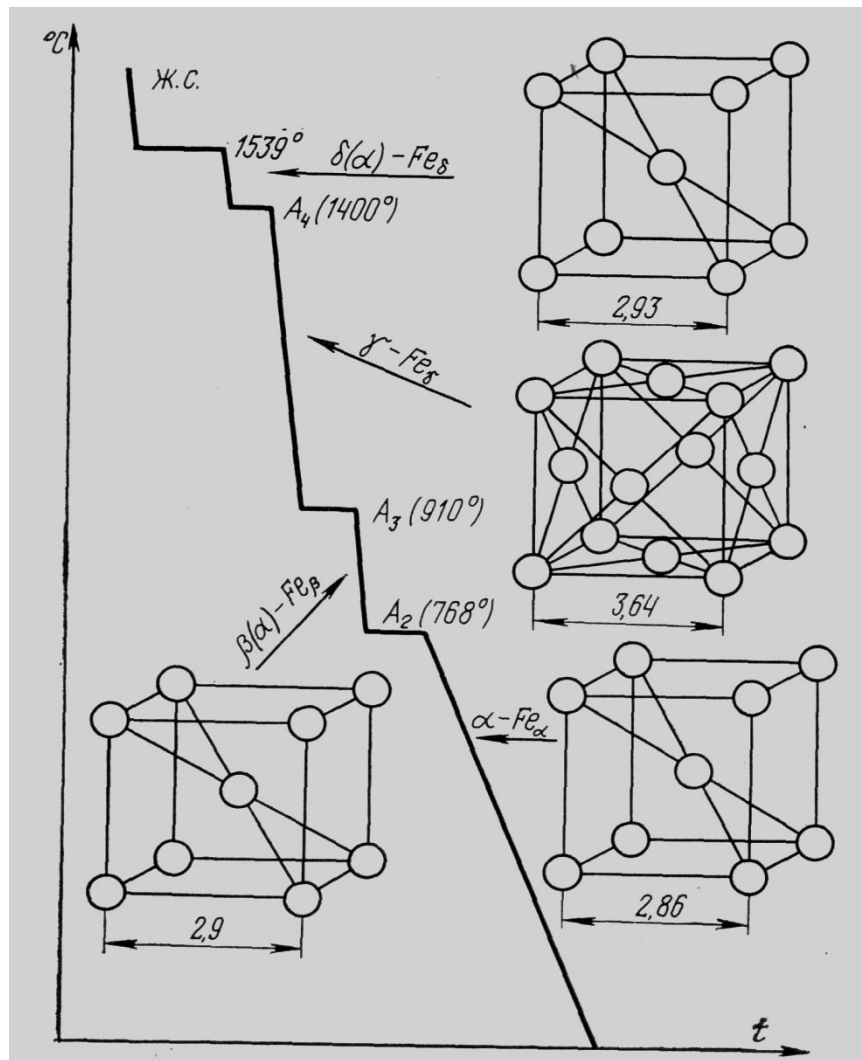


Рис. 8. Кривая охлаждения чистого железа

## **ТЕМА 2.**

# **СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

Металлы и сплавы характеризуются **механическими, физическими, химическими и технологическими свойствами**. Они определяют соответствие выбранного материала расчетным нагрузкам при проектировании и обеспечивают надежность и долговечность машины в эксплуатации.

К **механическим свойствам** относятся: прочность, пластичность, твердость, вязкость, выносливость, ползучесть и др.

Внешняя нагрузка вызывает в твердом теле **напряжение и деформацию**.

Напряжение – это нагрузка  $P$  (Н), отнесенная к единице начальной площади поперечного сечения  $F_0$  (м<sup>2</sup>) образца, (Н/м<sup>2</sup>)

$$\sigma = P / F_0$$

Деформация – изменение формы и размеров тела под действием приложенной нагрузки или в результате физико-механических процессов, возникающих в самом теле. Деформация может быть упругая, исчезающая после снятия нагрузки, и пластическая, остающаяся после снятия нагрузки.

**Напряжение**, отвечающее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца, называется пределом прочности при растяжении:

$$\sigma_{\sigma} = P_{\sigma} / F_0,$$

где  $P_{\sigma}$  – наибольшая нагрузка перед разрушением, Н.

Прочность – способность материала сопротивляться деформации или разрушению.



получать остаточную деформацию без разрушения.

Характеризуют пластичность относительным удлинением  $\delta$  и относительным сужением  $\psi$  образца при разрыве:

$$\delta = (l_k - l_0) / l_0 \cdot 100, [\%];$$

$$\psi = (F_0 - F_k) / F_0 \cdot 100, [\%],$$

где  $l_0$  – начальная длина образца, м;

$l_k$  – конечная длина образца после разрыва, м;

$F_0$  – начальная площадь поперечного сечения на участке сужения при разрыве, м<sup>2</sup>;

$F_k$  – конечная площадь поперечного сечения на участке сужения при разрыве, м<sup>2</sup>.

Твердость – способность материала сопротивляться пластической деформации при контактном воздействии в поверхностном слое.

Наибольшее применение получили методы определения твердости твердомерами ТШ (прибор Бринелля), ТК (прибор Роквелла), ТП (прибор Виккерса).

## ТЕМА 3.

# ТЕОРИЯ СПЛАВОВ

Сплавами называются вещества, состоящие из двух и более элементов (компонентов).

*В жидком состоянии* элементы (компоненты) сплава в большинстве случаев обладают *неограниченной взаимной растворимостью*.

*После затвердевания* компоненты, входящие в сплав, могут образовать:

- *твердые растворы,*
- *химические соединения,*
- *механические смеси.*

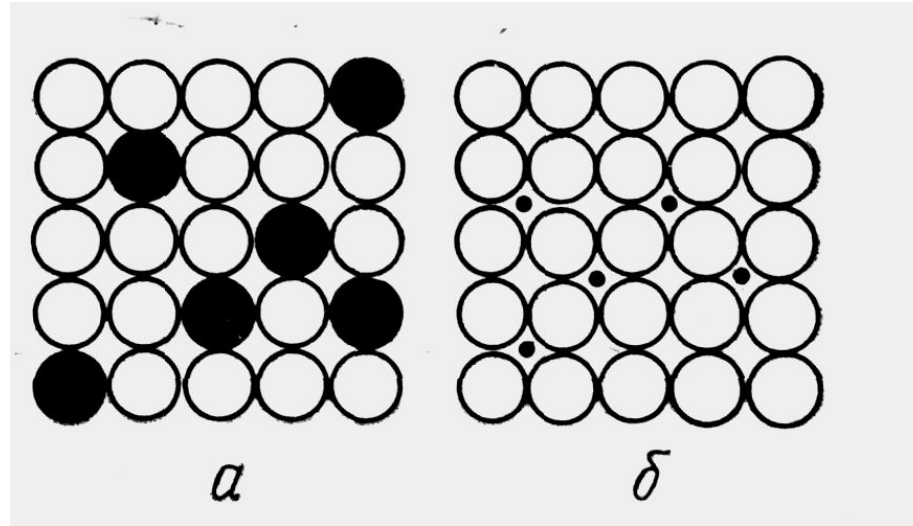


Рис. 10. Схема атомно-кристаллической структуры твердого раствора:  
*a* – замещения; *б* – внедрения

## Правило фаз (правило Гиббса)

устанавливает числовую зависимость между фазами, компонентами и степенью свободы системы.

Системой называются металлы и металлические сплавы, выбранные для наблюдения и изучения при определенных условиях (температура, давление).

Компонентами называют вещества, образующие сплав.

Фазой называется однородная часть системы, отделенная от других частей системы поверхностью раздела. При переходе через поверхность раздела резко изменяются свойства фазы. Фазы бывают твердые, жидкие и газообразные.

В твердых сплавах фазами могут быть зерна чистого металла, твердого раствора и химического соединения.

Числом степеней свободы (С) системы называют число внешних и внутренних факторов (температура, концентрация, давление), которое можно изменять без изменения числа фаз в системе.

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

где К – число компонентов;  $\Phi$  – число фаз

Если  $C = 0$ , фазы находятся в равновесии при строго определенных значениях всех факторов; изменение одного из них нарушает равновесие.

При  $C = 1$  до определенного значения можно менять температуру, не изменяя числа фаз.

При  $C = 2$  возможно изменить две переменные (температуру и концентрацию) без изменения фазового состава системы.



Диаграмма состояния – это график, на котором отражена зависимость между фазовым составом, температурой и концентрацией сплава.

Диаграммы состояния строят с помощью термического анализа.

Он основан на получении серии кривых охлаждения жидкого сплава и определении на них критических точек, то есть температур фазовых превращений.

Принято точки **начала кристаллизации** сплава называть точками ликвидус, \_\_\_\_\_ конца кристаллизации – солидус.

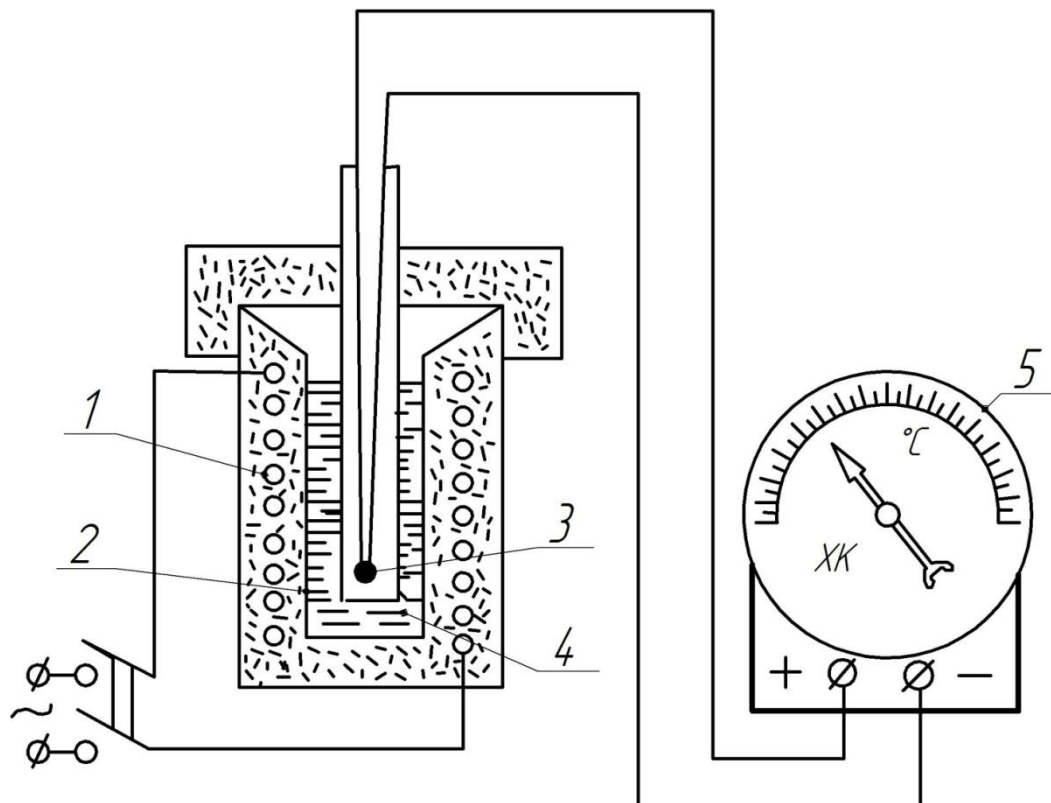


Рис. 11. Схема установки для проведения термического анализа:

- 1 – электропечь; 2 – тигель; 3 – термопара;
- 4 – расплавленный металл или сплав;
- 5 – милливольтметр (гальванометр)

# ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ ДЛЯ СПЛАВОВ, ОБРАЗУЮЩИХ МЕХАНИЧЕСКИЕ СМЕСИ ИЗ ЧИСТЫХ КОМПОНЕНТОВ (ПЕРВОГО РОДА)

Оба компонента в жидком состоянии неограниченно растворимы, а в твердом состоянии нерастворимы и не образуют химических соединений, а образуют мелкодисперсную физико-химическую смесь этих элементов (эвтектику).

Эвтектикой называется физико-химическая смесь двух (или более) видов кристаллов, одновременно кристаллизующихся из жидкости.

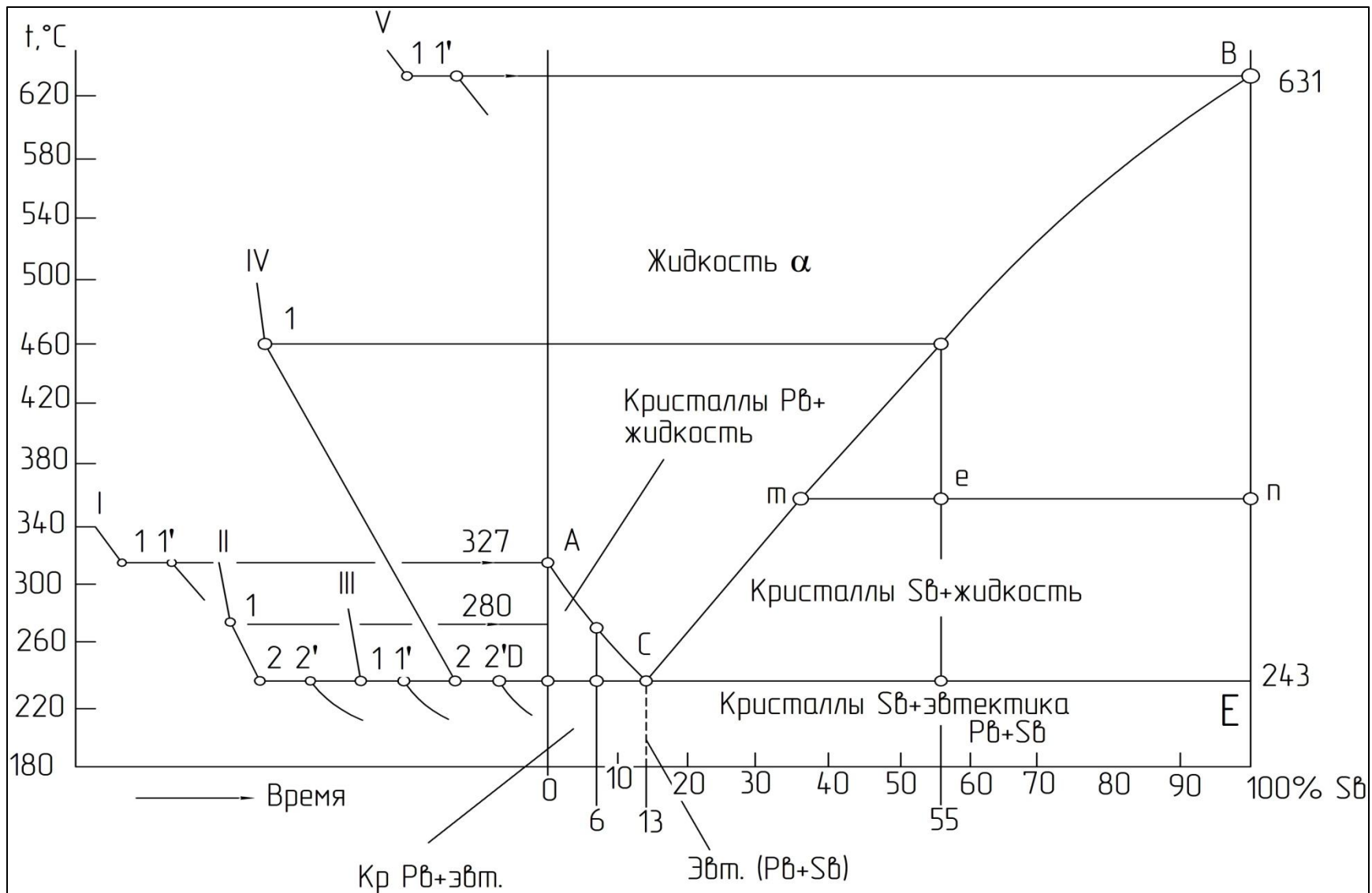


Рис. 12. Построение диаграммы состояния свинец-сурьма

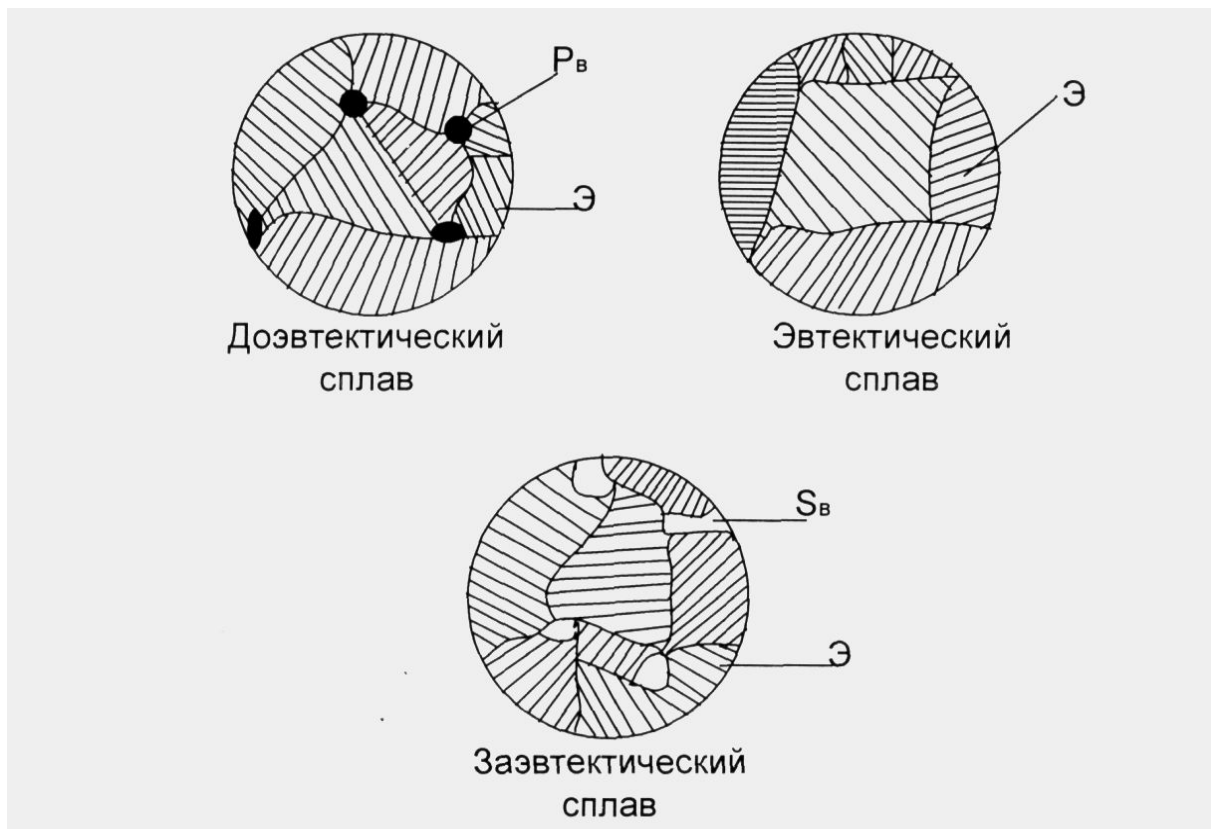


Рис. 13. Схемы зарисовки структуры сплавов системы свинец-сурьма

## ПРАВИЛО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА ФАЗ (ПРАВИЛО КОНЦЕНТРАЦИЙ)

Чтобы определить **концентрацию компонентов в фазах**, через данную точку, характеризующую состояние сплава, проводят горизонтальную линию (коноду) до пересечения с линиями, ограничивающими данную область диаграммы. **Проекции точек пересечения на ось концентрации показывают составы фаз.**

# ПРАВИЛО КОЛИЧЕСТВЕННОГО СООТНОШЕНИЯ ФАЗ (ПРАВИЛОМ КОНОДЫ):

Для того, чтобы определить **количественное соотношение фаз**, через заданную точку проводят горизонтальную линию до пересечения с линиями, ограничивающими данную область диаграммы. **Отрезки этой линии (коноды) между заданной точкой и точками, определяющими составы фаз, обратно пропорциональны количествам этих фаз.**

Так, для сплава IV в точке  $e$  при температуре  $t_1$ , отрезок  $mn$  определяет все количество сплавов, отрезок  $en$  – количество жидкости, а отрезок  $me$  – количество кристаллов сурьмы.



**ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ ДЛЯ СПЛАВОВ  
С НЕОГРАНИЧЕННОЙ РАСТВОРИМОСТЬЮ  
В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ (ВТОРОГО РОДА)**

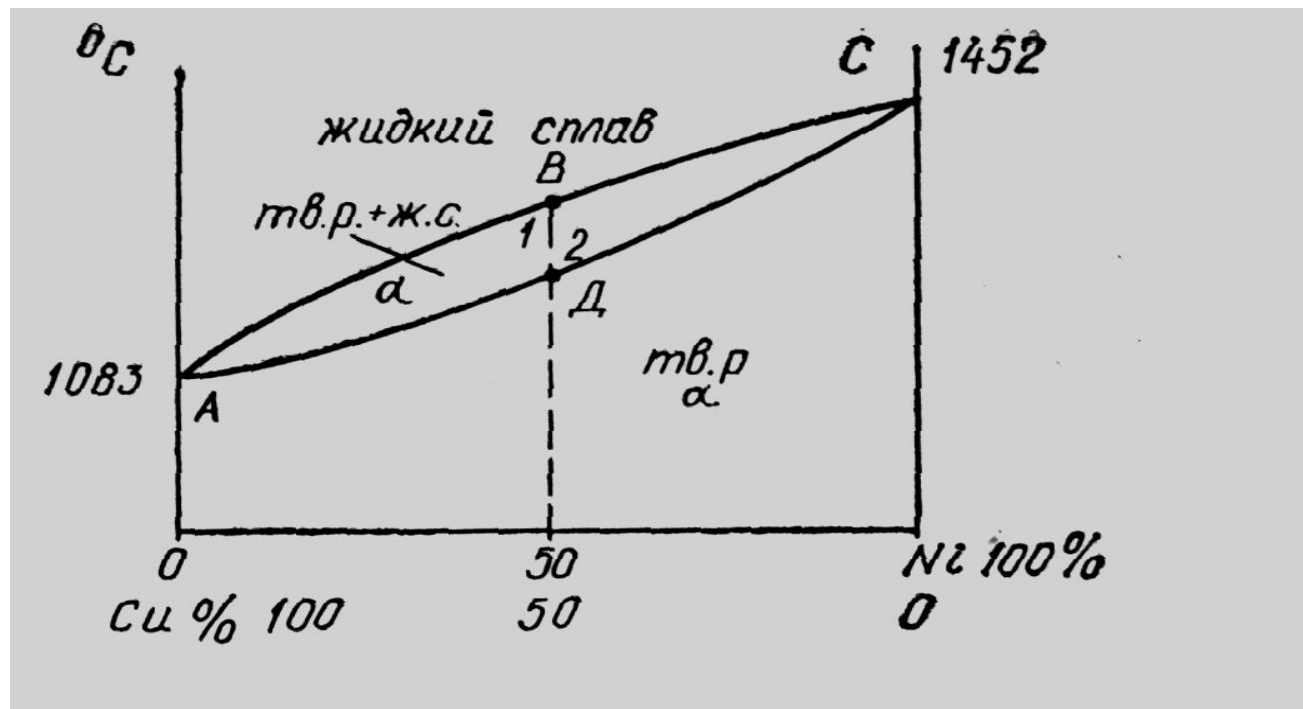


Рис. 14. Диаграмма состояния сплавов Cu-Ni

# ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ ДЛЯ СПЛАВОВ С ОГРАНИЧЕННОЙ РАСТВОРИМОСТЬЮ В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ (ТРЕТЬЕГО РОДА)

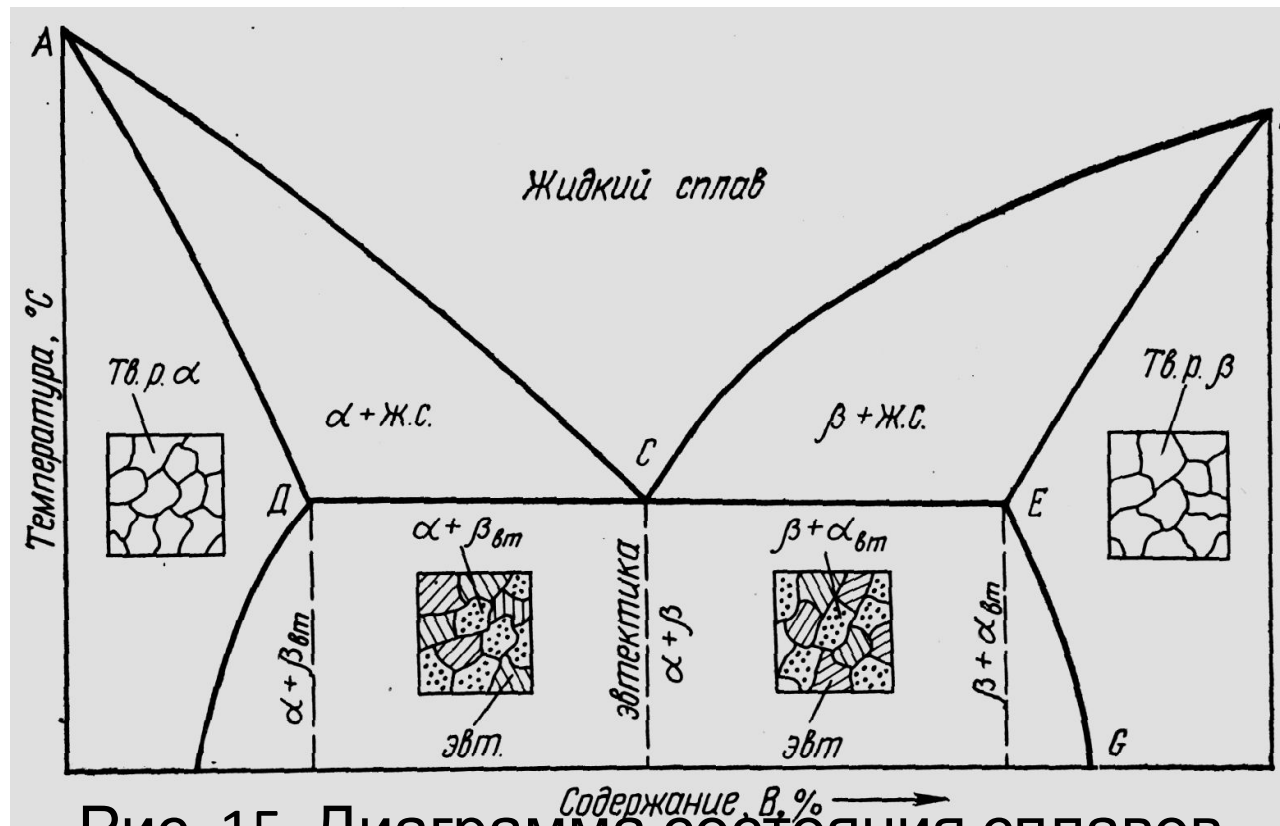


Рис. 15. Диаграмма состояния сплавов с ограниченной растворимостью в твердом состоянии

# СВЯЗЬ МЕЖДУ СВОЙСТВАМИ СПЛАВОВ И ТИПОМ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ (ЗАКОН КУРНАКОВА)

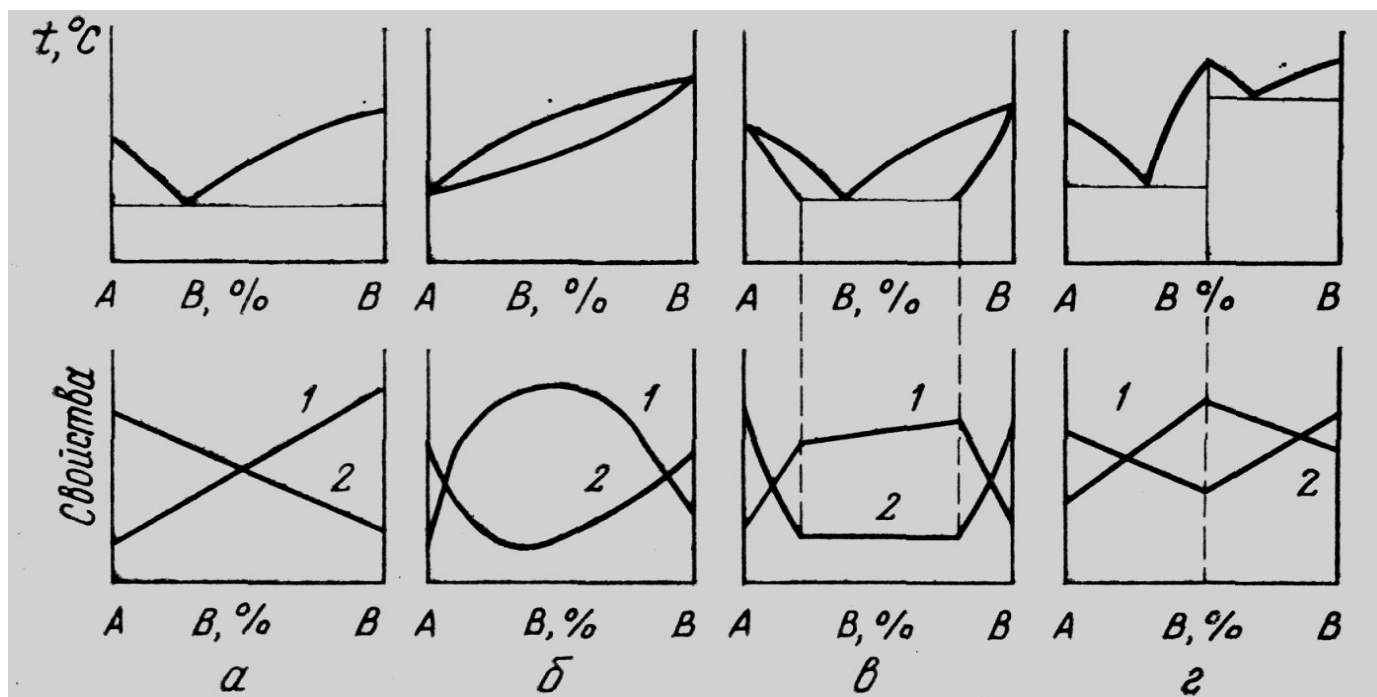


Рис. 16. Свойства сплавов и их диаграммы состояния:

1 – твердость; 2 – электропроводность