

## Лекция 4 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТАЛЛАХ И СПЛАВАХ

**Металлы** (от греч. metallon — руда, металл) — вещества, характеризующиеся в нормальных условиях высокими электропроводностью и теплопроводностью, способностью хорошо отражать электромагнитные волны, пластичностью.

Согласно современным представлениям, металлы состоят из ионного кристаллического остова, окруженного «электронным газом», который компенсирует энергию электростатического отталкивания ионов, связывая их в твердое тело (*металлическая связь*).

Из известных в настоящее время **106** химических элементов более **80** обладают свойствами металлов.

Металлы отличаются **высокой электропроводностью** ( $10^{-8} \dots 10^{-6} \text{ Ом}^1 \cdot \text{м}^{-1}$ ) при комнатной температуре.

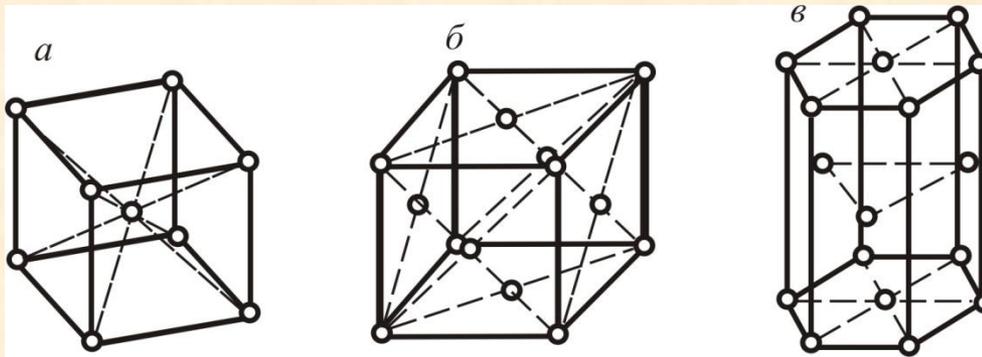
При воздействии повышенных температур металлам свойственно явление испускания электронов — *термоэлектронная эмиссия*. Эмиссия электронов с поверхности металлических электродов может наблюдаться при воздействии электрических полей напряженностью  $E \approx 10^7 \text{ В/см}$  - *автоэлектронная эмиссия*, электромагнитных излучений — *фотоэлектронная эмиссия*, при бомбардировке первичными электронами — *вторичная электронная эмиссия* и ионами — *ионно-электронная эмиссия*.

## Лекция 4 Общие сведения о металлах и сплавах

Все металлы подразделяют на две группы: *черные* — железо и его сплавы и *цветные* — остальные металлы. Последние в зависимости от свойств и распространенности делят на *легкоплавкие* (Zn, Cd, Sn, Sb, Hg, Pb, Bi), *тугоплавкие* (Ti, Cr, Zr, Nb и др.), *благородные* (Au, Ag, Pt, Rh, Pd, Os, Ir и др.).

**Атомно - кристаллическое строение** металлов характеризуется относительным расположением элементарных частиц (ионов, атомов, молекул) в кристаллической решетке.

Металлы имеют сложные высокосимметричные кристаллические решетки с плотной упаковкой атомов. Объемно центрированная кубическая решетка (ОЦК) содержит атомы в узлах ячейки и один в центре куба. Ячейка ОЦК содержит 9 атомов. Она характерна для щелочных и тугоплавких металлов. В ячейке гранецентрированной кубической решетки (ГЦК) содержится 14 атомов. Они расположены в центре граней и узлах ячейки. Этот тип решетки имеют медь, свинец, никель, благородные и некоторые другие металлы. Гексагональная плотноупакованная ячейка (ГПУ) содержит 17 атомов. Они располагаются в узлах и центре шестиугольных оснований, а три атома — в средней плоскости.



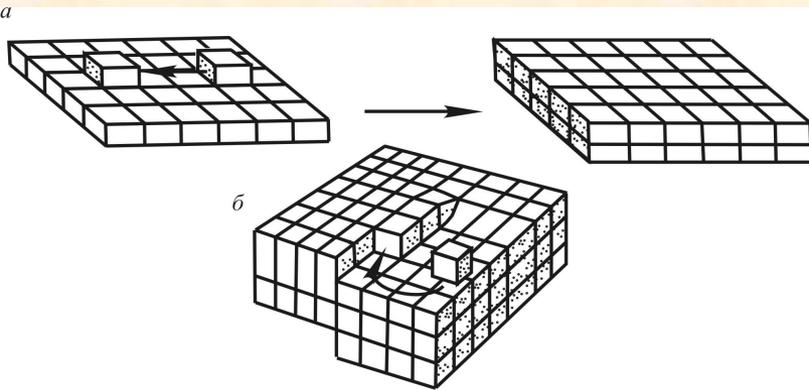
## Лекция 4 Общие сведения о металлах и сплавах

**Кристаллизация** — это фазовый переход вещества из состояния переохлажденной (пересыщенной) маточной среды в кристаллическую фазу с меньшей свободной энергией.

Различают первичную и вторичную кристаллизацию металлов: при первичной кристаллы образуются из веществ, находящихся в жидком или газообразном состоянии, вторичная протекает при распаде веществ в твердой фазе.

Кристаллизация расплава сопровождается уменьшением его объема, что приводит к уменьшению свободной энергии металла. Чем меньше геометрические размеры *кристаллических агрегатов* (зерен, образовавшихся в результате роста зародышей кристаллизации), тем больше значение их поверхностной энергии и тем большее количество частиц осаждается на их поверхности.

Существуют различные механизмы роста кристалла. В начале процесса кристаллизации образуется двухмерный зародыш. Кристалл увеличивается в размерах за счет последовательного формирования растущего слоя — послойно (рис. *а*). Если растущий кристалл содержит винтовую дислокацию, его рост осуществляется присоединением атома к торцу ступени, оканчивающейся на дислокации (рис. *б*).



Схемы роста кристаллов: *а* – послойный;  
*б* – на винтовой дислокации

## Лекция 4 Общие сведения о металлах и сплавах

Для управления процессами кристаллизации в расплав вводят *модификаторы* — поверхностно-активные вещества и тугоплавкие металлы (0,001...0,2 % Na, В, Ti, Zr, Mg, карбидов, графита и др.). Кристаллы, образующиеся при охлаждении расплава, имеют вид многогранников, дендритов, игольчатых и пластинчатых образований. Многогранник является простейшей формой кристаллов. В связи с неодинаковой скоростью кристаллизации на отдельных гранях многогранника могут образовываться **кристаллы пластинчатой, игольчатой, нитевидной** и других форм. Если в переохлажденном расплаве в качестве зародыша выступает кристалл, выступы на нем растут в различных кристаллографических направлениях, образуя многолучевую звезду. Дальнейший рост кристалла идет по нормали к плоскостям с наиболее плотной упаковкой атомов. На отростках, называемых осями первого порядка (I), появляются боковые ответвления — оси второго порядка (II), на них — ответвления третьего порядка (III). В результате в расплаве металла формируются кристаллы *дендритной* (древовидной) формы.

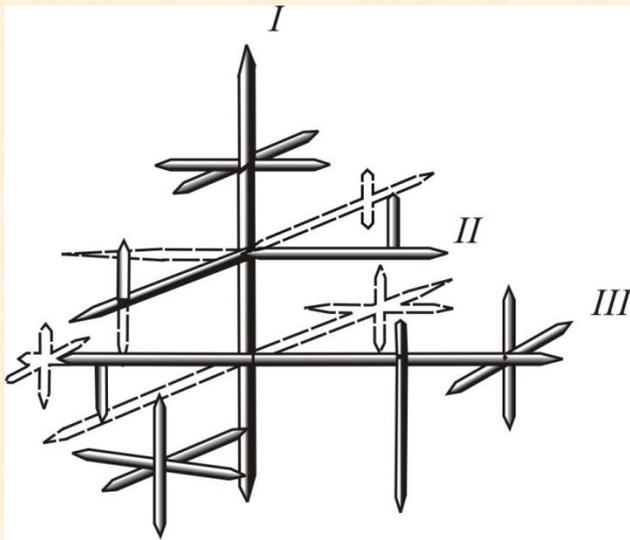


Схема образования дендритных кристаллов металлов (пунктиром показаны возможные направления роста)

## Лекция 4 Общие сведения о металлах и сплавах

**Полиморфизм** (от греч. polymorphos — многообразный) — способность некоторых веществ существовать в нескольких кристаллических состояниях с различной структурой. Такие состояния, представляющие собой термодинамические фазы, называют *полиморфными модификациями* и в соответствии с возрастанием температуры их существования обозначают буквами  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и т. д.

Полиморфизм свойствен простым и сложным веществам. Частным случаем его является **аллотропия** — существование химических элементов в виде двух или более простых веществ. Например, известны три аллотропические модификации углерода — графит, алмаз, сажа.

### Температурные интервалы существования кристаллических структур полиморфных металлов

Металл	Кристаллическая структура	Интервал температур существования модификации, °С
<b>Титан</b>	ГПУ	До 882
	ОЦК	882-1668
<b>Цирконий</b>	ГПУ	До 862
	ОЦК	862-1852
<b>Олово</b>	Алмазная	До 13
	ТОЦ	13-232
<b>Уран</b>	Ромбическая	До 663
	ТОЦ	663-764
	ОЦК	764-1130
<b>Железо</b>	ОЦК	До 911
	ГЦК	911-1392
	ОЦК	1392-1539
<b>Кобальт</b>	ГПУ	До 477
	ГЦК	477-1490

## Лекция 4 Общие сведения о металлах и сплавах

Полиморфные модификации металлов, как правило, различаются магнитными, электрическими, механическими, химическими и другими свойствами. Например, при температуре  $+18^{\circ}\text{C}$  происходит превращение белого олова ( $\beta$ -модификация) с тетрагональной кристаллической решеткой в серое ( $\alpha$ -модификация) с кубической решеткой. Превращение сопровождается увеличением объема решетки олова на 25,6 %, уменьшением плотности с  $7290 \text{ кг/м}^3$  до  $5850 \text{ кг/м}^3$  и возникновением напряжений, в результате которых оловянный слиток разрушается и превращается в порошок.

*Чистые металлы, находят ограниченное применение в машиностроении вследствие недостаточного соответствия их характеристик эксплуатационным требованиям современной техники, высокой стоимости и сложности технологии их получения и переработки. Наиболее широко используемые в настоящее время машиностроительные материалы представляют собой, как правило, сплавы, формируемые плавлением, спеканием, плазменным напылением, кристаллизацией из паров, электролизом, восстановлением из оксидов и другими методами.*

**Сплав металлический** — это макроскопически однородная система, состоящая из двух или более металлов или металлов и неметаллов, обладающая характерными свойствами металлов. Простые вещества, образующие сплав, называют его компонентами. Компонентами сплавов могут быть чистые металлы и неметаллы, а также продукты их взаимодействия — промежуточные фазы постоянного состава.

Свойства сплава определяются составом и соотношением фаз, которые образуются в результате взаимодействия компонентов. Состав фаз каждого конкретного сплава при заданной температуре соответствует диаграмме его состояния. Построение диаграмм состояния используемых в технике сплавов было и остается важной задачей металловедения.

Сплавы классифицируют по количеству компонентов на двойные, тройные и так далее, а по наличию фаз — на однофазные и многофазные.

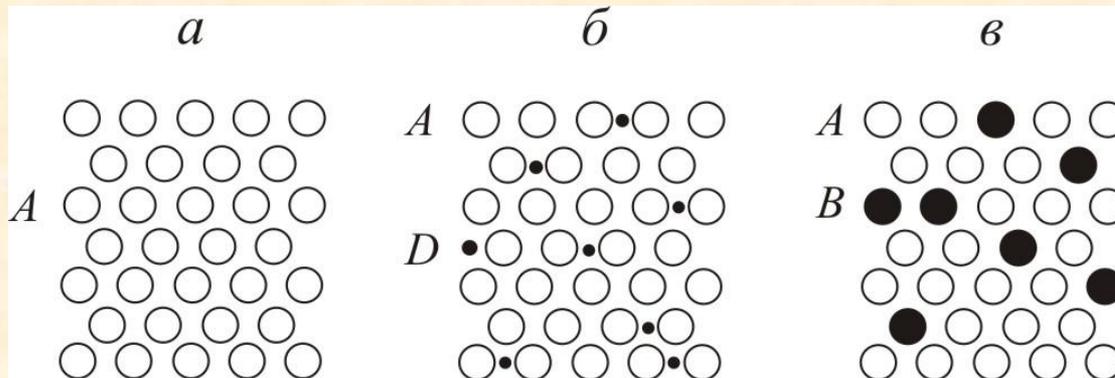
Различают следующие фазы металлических сплавов:

жидкие растворы,  
твердые растворы,  
химические соединения.

Они отличаются структурой и основными свойствами.

**Жидкий раствор** — однородная смесь двух или более компонентов, которые равномерно распределены в жидкой фазе в виде отдельных атомов, ионов или молекул.  
**Твердым раствором** называют фазу, состоящую из двух или более компонентов, один из которых является растворителем и сохраняет присущую ему кристаллическую решетку, а другой (или другие) распределён в этой решетке, не изменяя ее типа.

В зависимости от характера распределения компонентов различают твердые растворы внедрения и замещения.



Схемы расположения атомов в твердых растворах: *а* — чистый элемент *A*, *б* — твердый раствор элемента внедрения *D* в элементе *A*, *в* — твердый раствор замещения элемента *B* в элементе *A*.

## Лекция 4 Общие сведения о металлах и сплавах

Твердые растворы внедрения характерны для сплавов переходных металлов с неметаллами, имеющими атомы небольшого радиуса. Главным условием образования такого раствора является соответствие радиуса атома внедрения и радиуса поры кристаллической решетки растворителя.

Металлы при сплавлении обладают свойством растворяться друг в друге, образуя смесь компонентов, находящихся в твердом состоянии. Установлены эмпирические правила такого **растворения**:

- 1) увеличение разницы атомных радиусов компонентов сплава снижает их способность к образованию раствора (размерный фактор),
- 2) увеличение разности в валентностях компонентов при соответствии их атомных радиусов снижает растворимость (относительная валентность).

Образование **твердых растворов замещения** возможно при любом соотношении атомных масс компонентов. Для образования твердых растворов с неограниченной растворимостью необходимо выполнение следующих условий:

- 1) компоненты сплава должны обладать изоморфными (полностью подобными) кристаллическими решетками;
- 2) различие атомных размеров компонентов не должно превышать 8—15%;
- 3) внешние электронные оболочки атомов компонентов должны иметь одинаковое строение (равная валентность). Примерами таких сплавов являются сплавы Cu—Au, Cu—Ni, Ge — Si, Ag — Au, Mo — V.

## Лекция 4 Общие сведения о металлах и сплавах

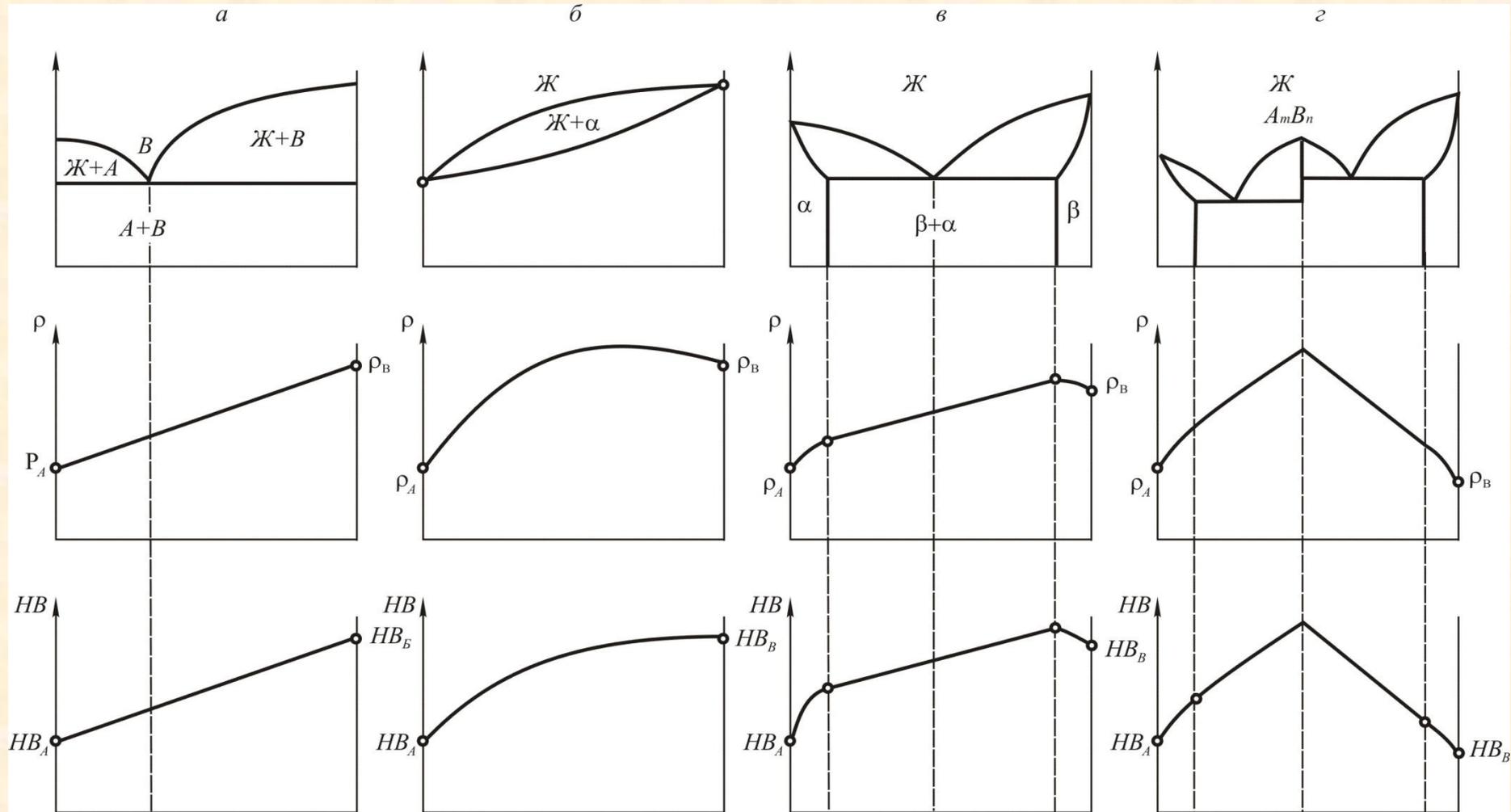
В сплавах возможно образование фаз постоянного состава, соотношение элементов в которых подчиняется **правилу валентности**. Такие фазы называют **химическими соединениями** сплавов, они имеют следующие особенности:

- 1) кристаллическая решетка сплава отличается от кристаллических решеток компонентов;
- 2) соотношение элементов в решетках кратно целым числам;
- 3) свойства сплавов отличны от свойств компонентов;
- 4) тепловой эффект образования сплавов положителен.

Для определения количества фаз в сплаве и их состава строят диаграммы фазового равновесия - диаграммы состояния. *Диаграмма состояния* — графическое изображение фазового состава сплава в состоянии равновесия или близком к нему, в зависимости от температуры и содержания компонентов сплава.

Для построения диаграмм состояния металлических сплавов иногда используют расчетные зависимости изменения свободной энергии системы. Их получают на основе экспериментальных данных, полученных методами дифференциально-термического анализа (ДТА), рентгено-структурного анализа, дилатометрии, калориметрии сплавов и др.

# Лекция 4 Общие сведения о металлах и сплавах



Корреляция между типом диаграмм состояния и свойствами сплавов  $\rho$  – плотность,  $HB$  – твердость с компонентами: *а* – практически нерастворимыми в твердом состоянии; *б* – неограниченно растворимыми в твердом состоянии ; *в* – ограниченно растворимыми в твердом состоянии; *г* – образующими химическое соединение

## Лекция 4 Общие сведения о металлах и сплавах

В твердом состоянии металлы обычно ограниченно растворимы один в другом. Существует три принципиально разных типа таких сплавов: сплавы с ограниченной растворимостью компонентов и эвтектическим превращением; сплавы компонентов, практически не растворимых в твердом состоянии, с эвтектическим превращением; сплавы с ограниченной растворимостью компонентов и перитектическим превращением.

*Эвтектикой* («легкоплавящейся», греч.) называют высокодисперсную механическую смесь нескольких твердых фаз, одновременно кристаллизующихся из расплава при постоянной температуре.

*Эвтектическим превращением* называют процесс одновременной кристаллизации из расплава нескольких твердых фаз при постоянной температуре. На абсциссе диаграммы состояния сплава с ограниченной растворимостью компонентов и эвтектическим превращением нанесены точки  $F$  и  $G$ . Видно, что предельная растворимость компонента  $A$  в компоненте  $B$  соответствует точке  $G$ , компонента  $B$  в  $A$  — точке  $F$ . Сплав, соответствующий проекции точки  $B$  (сплав  $\text{Э}$ ), является самым легкоплавким— эвтектическим. Сплавы, относящиеся к области левее точки  $B$ , называют доэвтектическими, правее точки  $B$  — заэвтектическими. При температурах выше линии  $ABC$  (ликвидус) система находится в жидком состоянии; при температурах, соответствующих точкам на линии  $AEBDC$  (солидус), — в твердом.