

# Металлы и сплавы

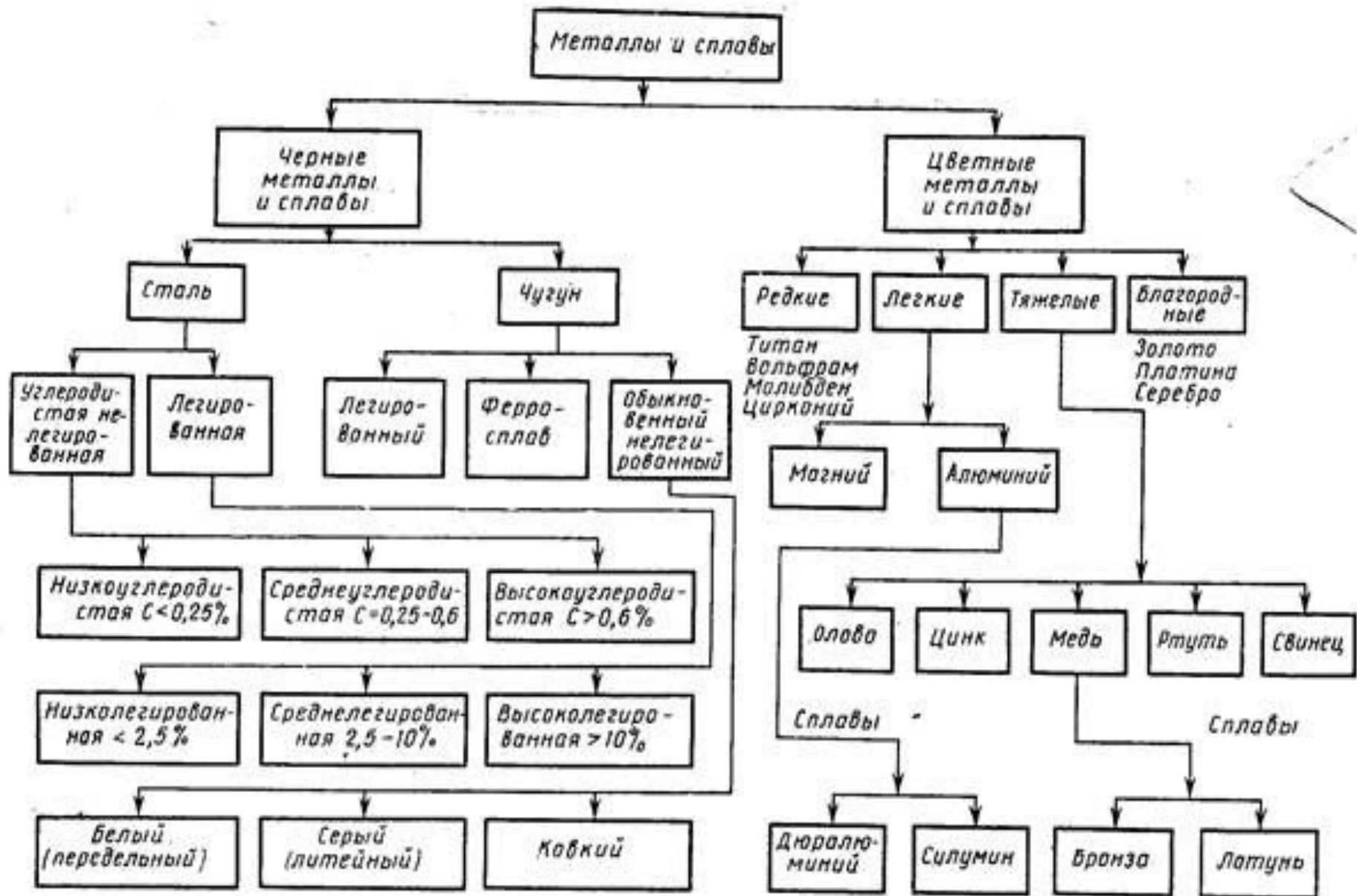
## Лекция 1

# Литература

- Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. **Электротехнические материалы**. Изд.7-е. Л.: Энергоатомиздат.1985г.
- С.Н.Колесов и др. **Материаловедение и технология конструкционных материалов**. Учебник для вузов – 2 изд., М.: Высшая школа, 2007, 535с.
- И.Е. Илларионов, И.А. Стрельников, Э.Л.Львова, Е.А. Деревянных **Материаловедение**, Чебоксары, изд-во ЧГУ 2016 г.
- Ефимова Л.Б. «Материаловедение, технология конструкционных материалов» Лабораторный практикум. Чебоксары, ЧГУ 2015 год.
- Р.К. Мозберг «Материаловедение», Москва, ВШ, 1991 год.

# Общие сведения о металлах и сплавах

# Классификация металлов по физико-химическим свойствам



# По физико-химическим свойствам металлы можно разделить на группы:

**Тугоплавкие** — металлы, у которых температура плавления выше, чем у железа ( $1539^{\circ}\text{C}$ ); вольфрам W ( $3380^{\circ}\text{C}$ ), тантал Ta ( $2970^{\circ}\text{C}$ ), молибден Mo ( $2620^{\circ}\text{C}$ ), хром Cr ( $1900^{\circ}\text{C}$ ), платина Pt ( $1770^{\circ}\text{C}$ ), титан Ti ( $1670^{\circ}\text{C}$ ) и др. Применяют их как самостоятельно, так и в виде легирующих добавок в стали.

**Легкоплавкие** — имеют  $T_{\text{пл}}$  ниже  $500^{\circ}\text{C}$ ; к ним относятся: цинк Zn ( $419^{\circ}\text{C}$ ), свинец Pb ( $327^{\circ}\text{C}$ ), кадмий Cd ( $321^{\circ}\text{C}$ ), олово Sn ( $232^{\circ}\text{C}$ ), Na ( $98^{\circ}\text{C}$ ), Hg ( $-39^{\circ}\text{C}$ ) и др. Назначение : антикоррозионные покрытия, антифрикционные сплавы, припой.

**Легкие металлы** имеют плотность не более  $2,750 \text{ г/см}^3$ ; к ним относятся Al — 2,7, бериллий Be — 1,84, Mg — 1,74, Na — 0,97, Li —  $0,530 \text{ г/см}^3$  и др. Эти металлы и сплавы на их основе применяют для производства сплавов, используемых в конструкциях с ограничениями в массе.

**Тяжелые металлы** – олово (7,3 г/см<sup>3</sup>), цинк (7,1 г/см<sup>3</sup>), медь (8,9 г/см<sup>3</sup>), ртуть (13,6 г/см<sup>3</sup>), свинец 11,35 г/см<sup>3</sup>.

**Благородные** — Au-золото, Ag-серебро, Pt-платина

Эти металлы и сплавы на их основе обладают высокой химической стойкостью, в том числе при повышенных температурах. Их используют в качестве контактных материалов, выводов интегральных микросхем, термометров сопротивления и термопар.

**Магнитные** — Fe, Co, Ni обладают ферромагнитными свойствами, сплавы на основе Fe, Co и Ni являются основными магнитными материалами (ферромагнетиками).

**Редкоземельные** — лантаноиды: Nd – неодим, Sm-самарий и др. Сплавы на основе редкоземельных элементов являются весьма перспективными магнитотвердыми материалами.

# Применение металлов и сплавов в технике Применение в качестве конструкционных материалов.

- **Конструкционные материалы (КМ)** — материалы, из которых изготавливаются различные конструкции, детали машин, элементы сооружений, воспринимающих силовую нагрузку.
- Определяющими параметрами таких материалов являются механические свойства: *механическая прочность, относительное удлинение при разрыве, ударная вязкость, твердость и др.*
- Наиболее широко используемыми в технике КМ являются такие металлические сплавы, как *углеродистые и легированные стали и чугуны.*

- **Применение в качестве проводниковых материалов в электротехнике**

- Здесь можно выделить несколько групп материалов по применению: *материалы высокой проводимости*: серебро, медь, алюминий, *сплавы высокого сопротивления*: константан, манганин, *жаростойкие*: нихром, фехраль, *сплавы для термопар*: хромель-копель, медь-константан, платина-платинородий, *сверхпроводниковые материалы*: сплавы на основе ниобия и ванадия, контактные материалы, и др.
- *Основные характеристики проводниковых материалов*: Удельное сопротивление, температурный коэффициент уд. Сопротивления, коэффициент термо Э.Д.С .

- **Применение в качестве магнитных материалов**:

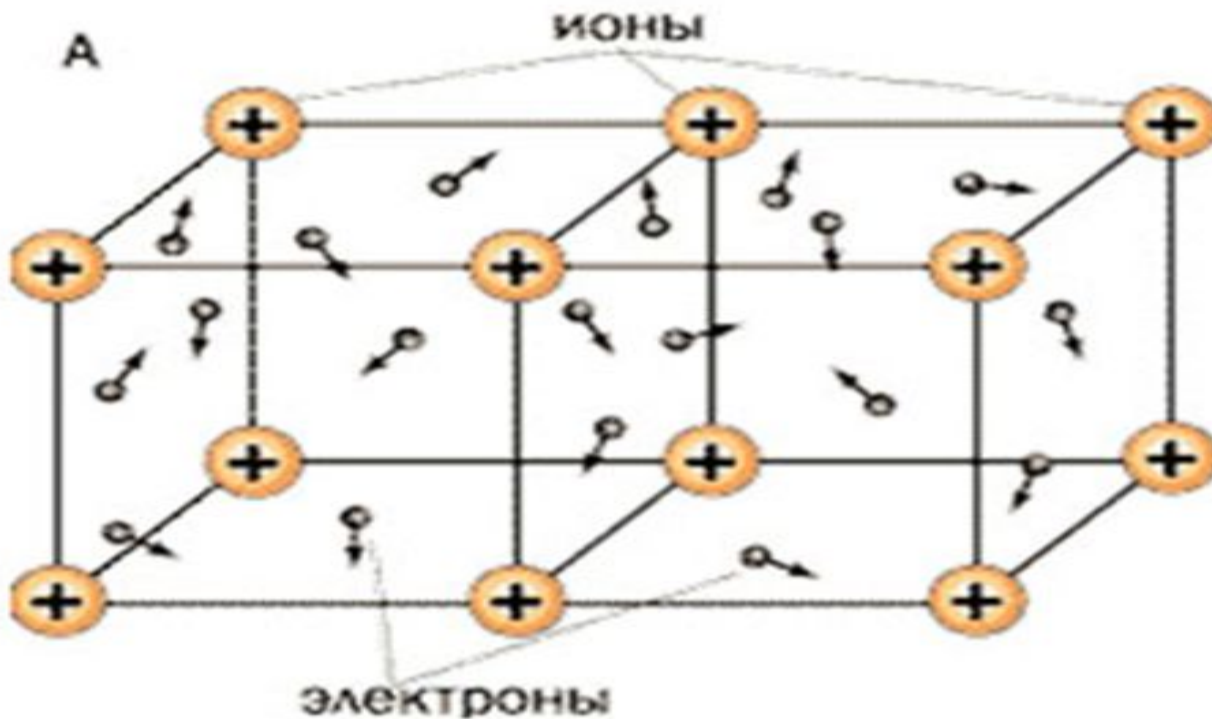
- *металлические магнитные материалы*: Fe железо, Co кобальт, Ni никель, а также различные сплавы и композиционные материалы на их основе (кремнистая электротехническая сталь, альсиферы, пермаллои, сплавы альни, мартенситные стали, РЗМ магниты, ферриты и магнитодиэлектрики).
- Магнитные материалы делят на магнитомягкие и магнитотвердые, у них разные свойства и соответственно применение.
- *Основные характеристики магнитных материалов*: магнитная проницаемость, коэрцитивная сила, индукция насыщения, остаточная индукция, магнитная энергия.



## Строение и основные свойства металлов.

- высокая электропроводность;
- высокая теплопроводность;
- Пластичность, ковкость

Такие **свойства** металлов обусловлены кристаллическим строением и наличием свободных электронов.

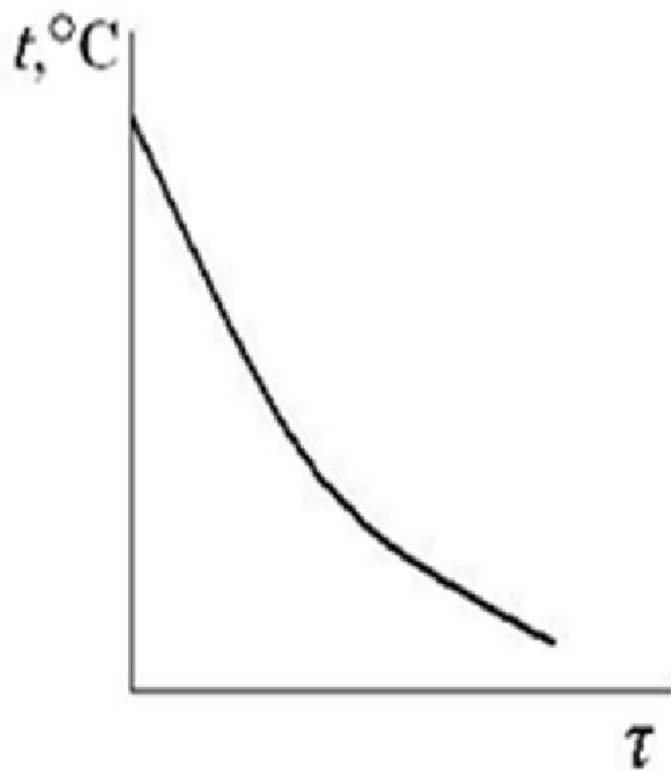


# Кристаллизация металлов

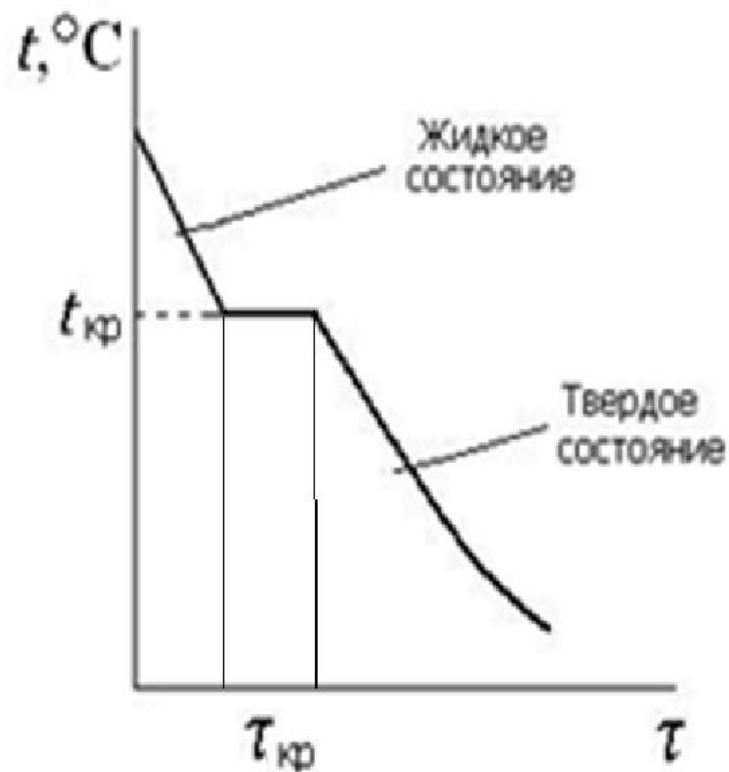
# Кристаллизация металлов

- Процесс образования в металлах кристаллической решетки называется **кристаллизацией**. (первичная и вторичная )
- **Первичная кристаллизация** –представляет собой переход металла из жидкой в твердую фазу.
- **Вторичная** – это процесс перестройки кристаллической решетки из одной модификации в другую.
- Для изучения процесса кристаллизации строят **кривые охлаждения металлов, которые показывают изменение температуры металла (t) во времени (τ).**

# Кривые охлаждения аморфного (а) и кристаллического (б) тел



а



б

$t_{кр}$  - температура кристаллизации

$\tau_{кр}$  - время кристаллизации

- Переход из одного состояния в другое возможен, если новое состояние в новых условиях является более устойчивым, **обладает меньшим запасом энергии.**
- Стремление системы к изменению (к превращению), т.е. работоспособность системы (свободная энергия) определяется из уравнения Гиббса

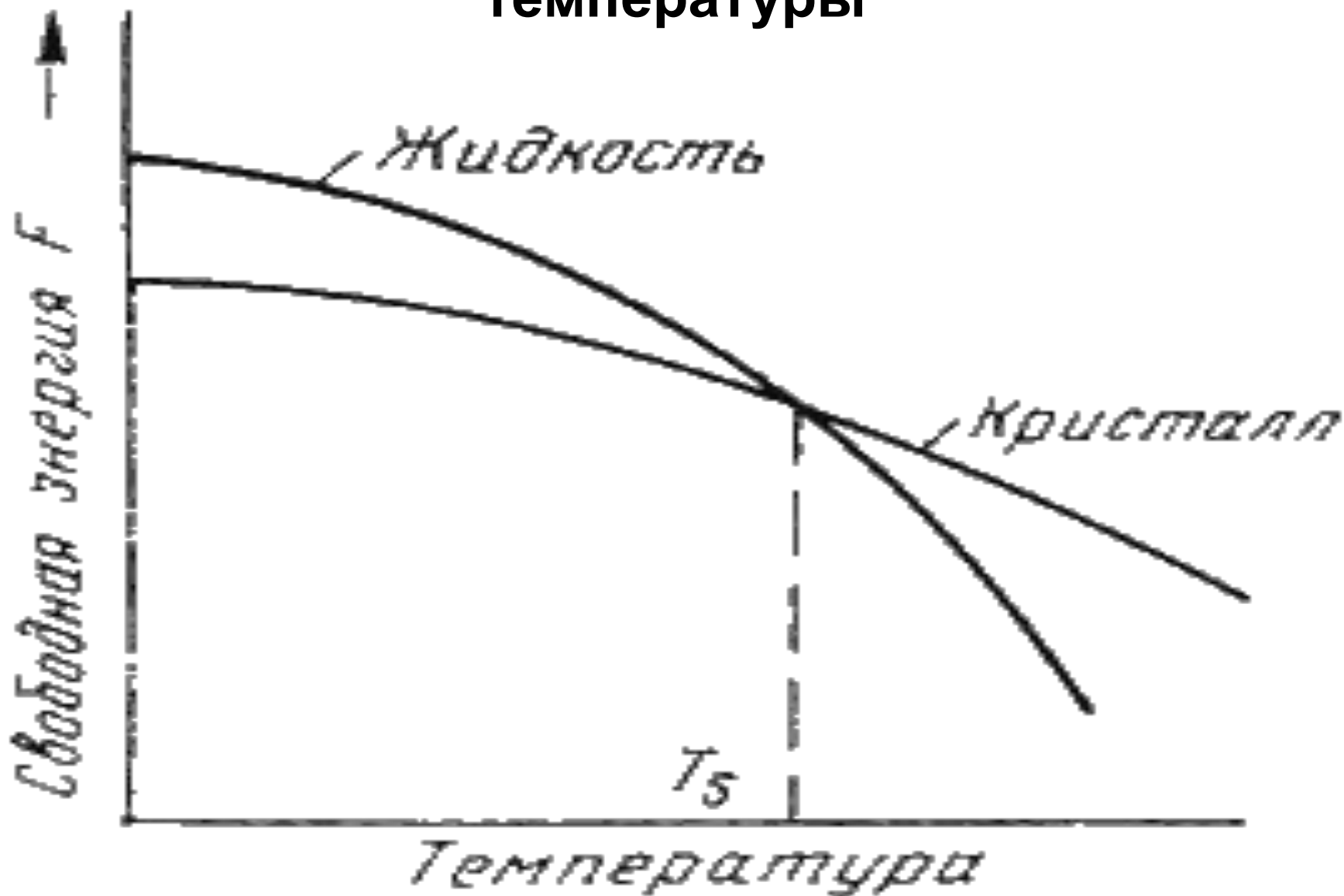
$$F = \Delta H - T \Delta S$$

$F$  – свободная энергия

$\Delta H$  -изменение энтальпии (теплосодержания системы ),

$\Delta S$  – изменение энтропии системы при превращении

# Характер изменения свободной энергии жидкого и твердого состояний с изменением температуры

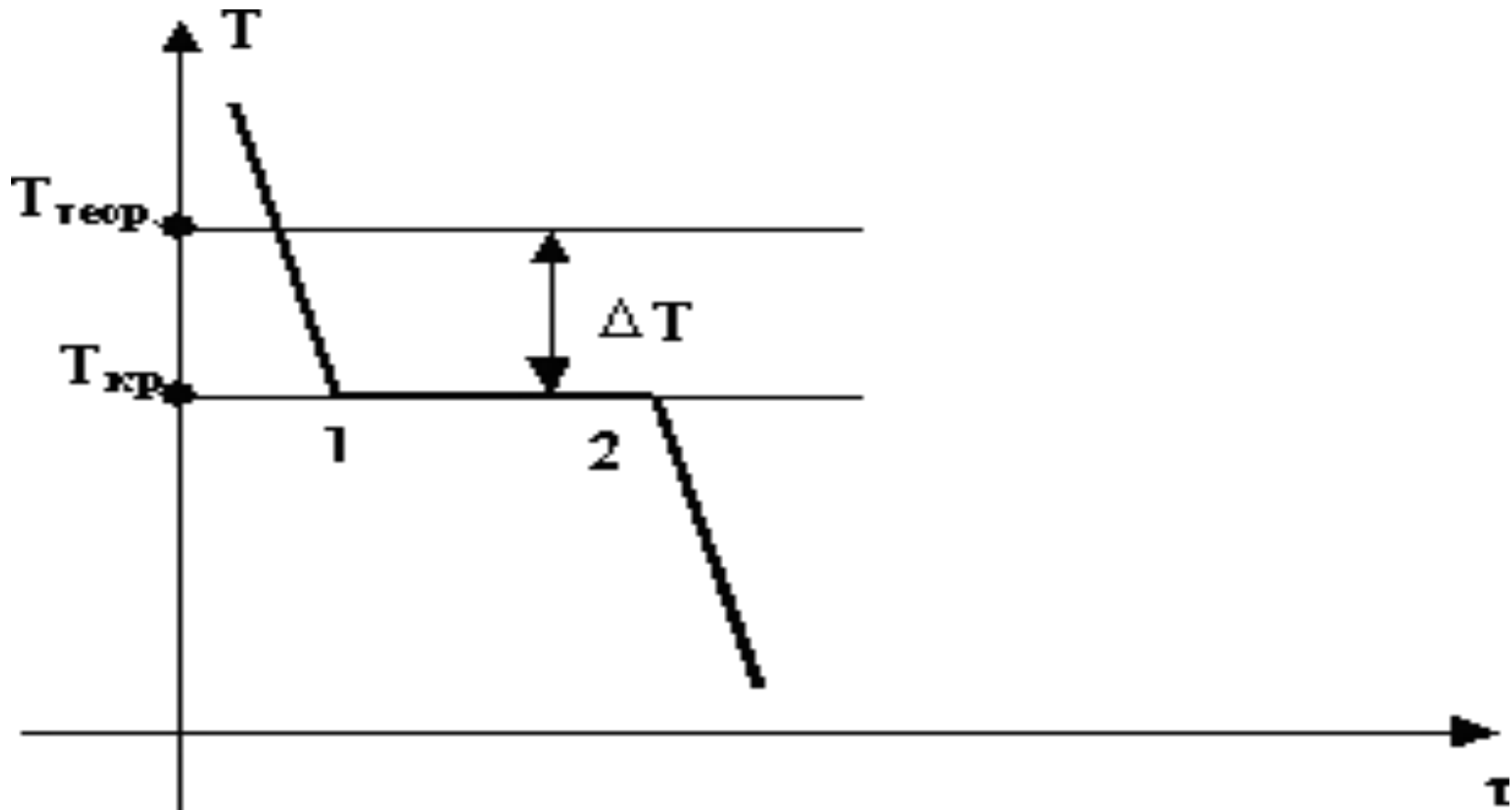


$T_s$  – равновесная или теоретическая температура кристаллизации.

- Для начала процесса кристаллизации необходимо, чтобы процесс был **термодинамически выгоден системе** и сопровождался уменьшением свободной энергии системы.
- Температура, при которой практически начинается кристаллизация, называется **фактической температурой кристаллизации** ( $T_{кр}$ ).
- Охлаждение жидкости ниже равновесной температуры кристаллизации называется **переохлаждением**, которое характеризуется **степенью переохлаждения** ( $\Delta T$ ):

$$\Delta T = T_{теор} - T_{кр}.$$

Процесс перехода металла из жидкого состояния в кристаллическое можно описать с помощью кривых охлаждения в координатах время  $t$  – температура  $T$ .



$T_{\text{теор}}$  – теоретическая температура кристаллизации;  
 $T_{\text{кр}}$  – фактическая температура кристаллизации.



- **Степень переохлаждения  $\Delta T$  зависит от природы металла, от степени его загрязненности (чем чище металл, тем больше степень переохлаждения), от скорости охлаждения (чем выше скорость охлаждения, тем больше степень переохлаждения).**
- В процессе кристаллизации происходит перемещение атомов (диффузионные процессы, обусловленные тепловым движением атомов в жидкой или в твердой фазе на расстоянии, большее периода решетки).

- Кристаллизация металла происходит постепенно. Она объединяет два процесса, происходящих одновременно: *возникновение центров кристаллизации (зародышей) и рост кристаллов.*

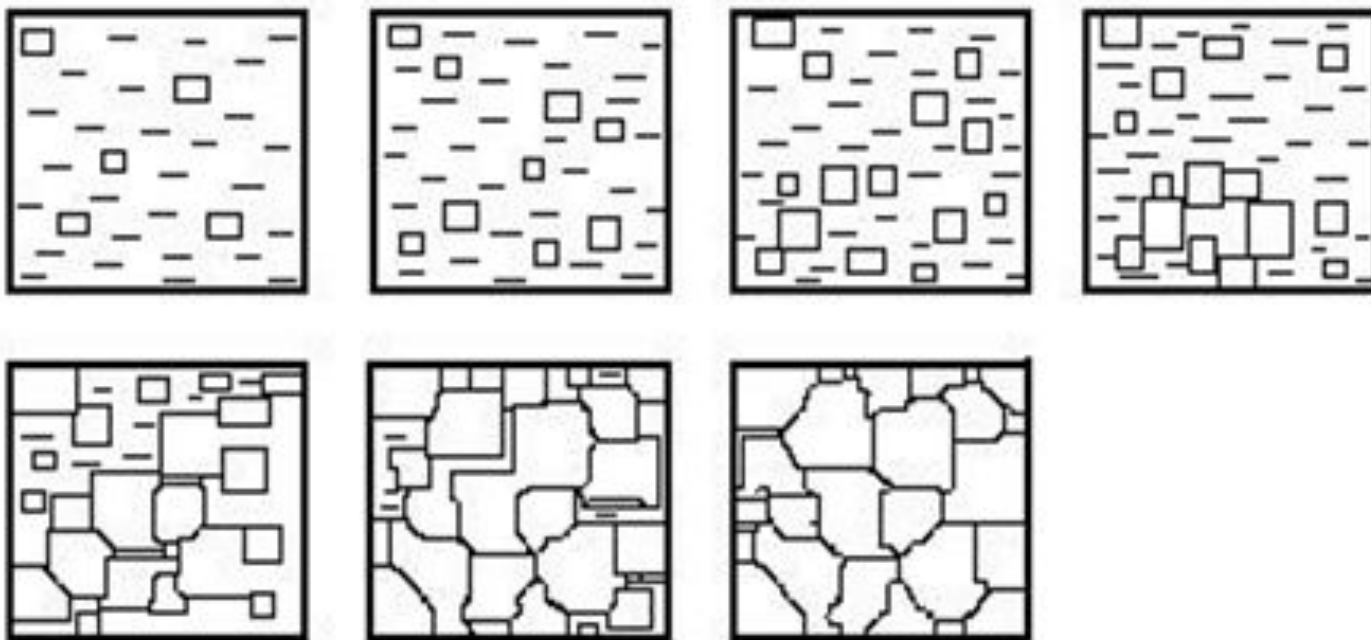


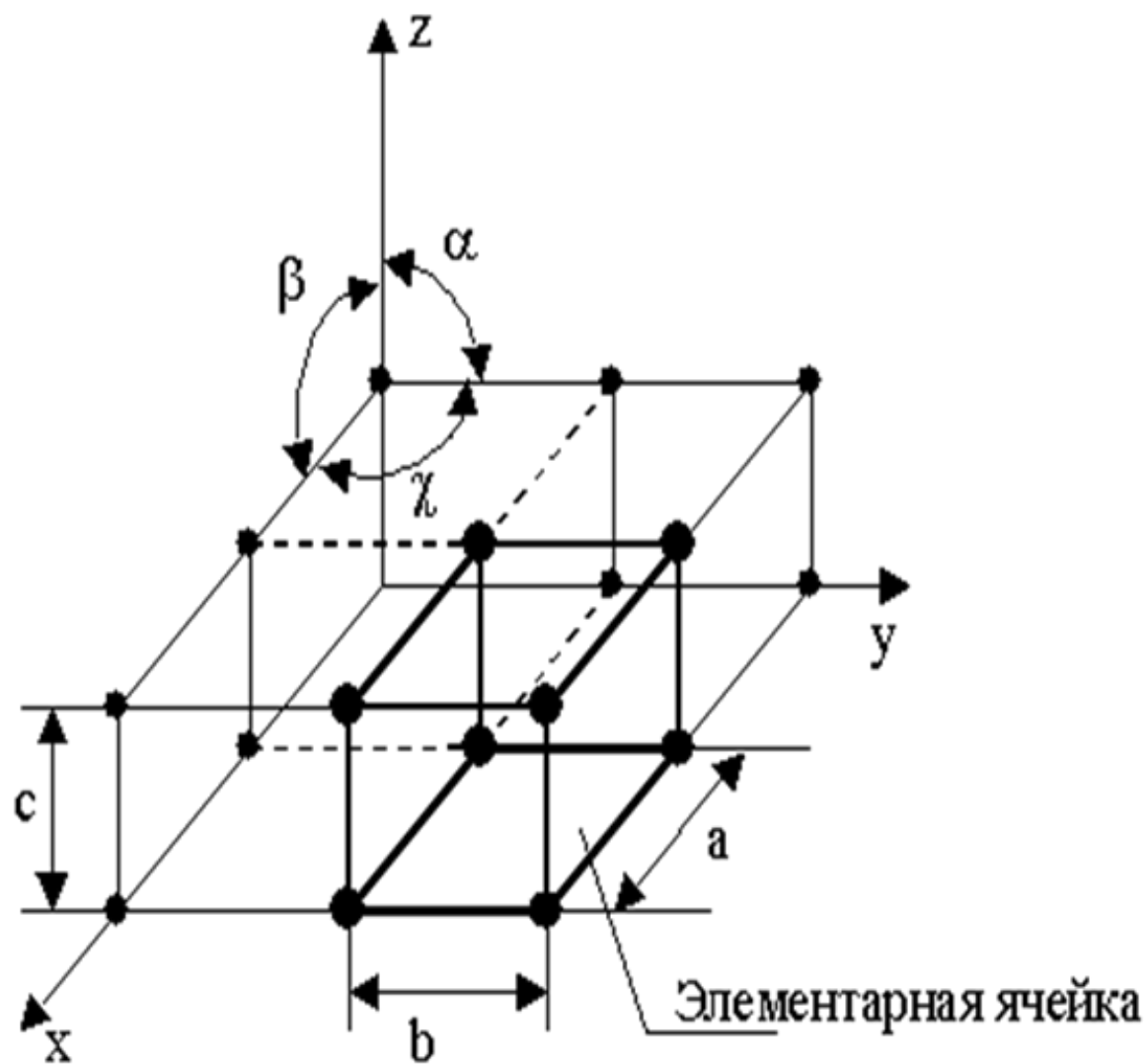
Рис. 4. Схема процесса кристаллизации металла.

**Размер зерен зависит** от числа частичек нерастворимых примесей, которые играют роль готовых центров кристаллизации – оксиды, нитриды, сульфиды.

- ✓ Чем больше частичек, тем мельче зерна закристаллизовавшегося металла.
- ✓ Стенки изложниц имеют неровности, шероховатости, которые увеличивают скорость кристаллизации.
- ✓ Искусственное введение в жидкий металл тугоплавких мелких частичек, служащих дополнительными центрами или влияющих на их образование, является наиболее прогрессивным методом регулирования размеров зерен, их формы и свойств металлов и сплавов - называется ***модифицированием***.

# Основные типы кристаллических решеток и их параметры.

- **Кристаллическая решетка** - воображаемая пространственная решетка, в узлах которой расположены частицы, образующие твердое тело.
- **Элементарная ячейка** – элемент объема кристаллической решетки из минимального числа атомов, многократное воспроизведение в пространстве которого создает пространственную кристаллическую решетку.



## **размеры ребер элементарной ячейки:**

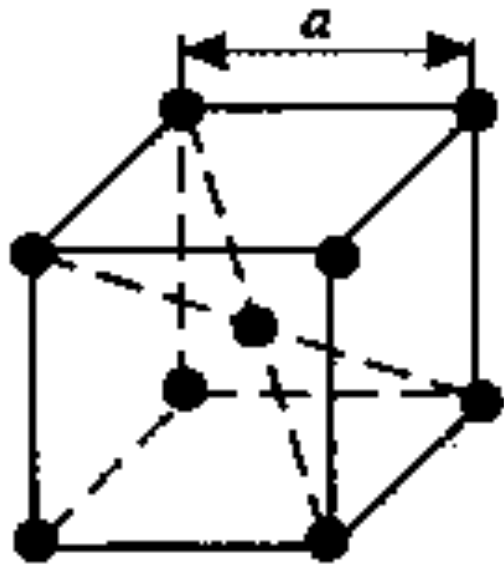
$a, b, c$  – периоды решетки – это расстояния между центрами ближайших атомов, в одном направлении выдерживаются строго определенными;

- **углы между осями** ( $\alpha, \beta, \chi$ );
- **координационное число** ( $K$ ) - указывает на число атомов, расположенных на ближайшем одинаковом расстоянии от любого атома в решетке;
- **базис решетки** - количество атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку решетки;
- **плотность упаковки атомов** в кристаллической решетке – **объем, занятый атомами**, которые условно рассматриваются как жесткие шары, т.е. это отношение объема, занятого атомами к объему ячейки

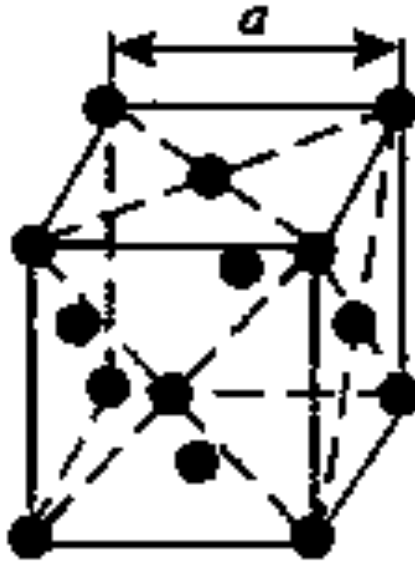
Классификация видов кристаллических решеток была проведена **французским ученым О. Браве** (четырнадцать видов решеток, разбитых на четыре типа):

- **примитивный** – узлы решетки совпадают с вершинами элементарных ячеек;
- **базоцентрированный** – атомы занимают вершины ячеек и два места в противоположных гранях;
- **объемно-центрированный** – атомы занимают вершины ячеек и ее центр;
- **гранецентрированный** – атомы занимают вершины ячейки и центры всех шести граней.

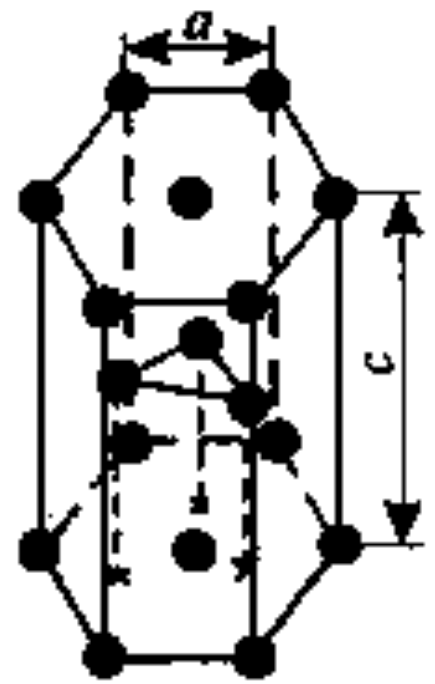




а)



б)



в)

## Основные типы кристаллических решеток:

а – объемно-центрированная кубическая (ОЦК -  $\alpha$ -Fe, Cr, W, Mo и др.)

б – гранецентрированная кубическая (ГЦК -  $\gamma$ -Fe, Ni, Ag, Au, Pb, Cu, и др.)

в – гексагональная плотноупакованная (ГПУ - Zn, Cd, Be,  $\alpha$ -Co,  $\alpha$ -Ti и др.).

Тип решетки	Координационное число	Базис	Коэф. Компактности
О.Ц.К.	8	2	0.68
Г.Ц.К.	12	4	0.74
Г.П.У.	12	6	0.74

# Аллотропия или полиморфные

## превращения

- Способность некоторых металлов существовать в различных кристаллических формах в зависимости от внешних условий (давление, температура) называется **аллотропией** или **полиморфизмом**.

Примеры железо Fe:  $t < 911^\circ\text{C}$  – ОЦК -  $\text{Fe}_\alpha$ ;

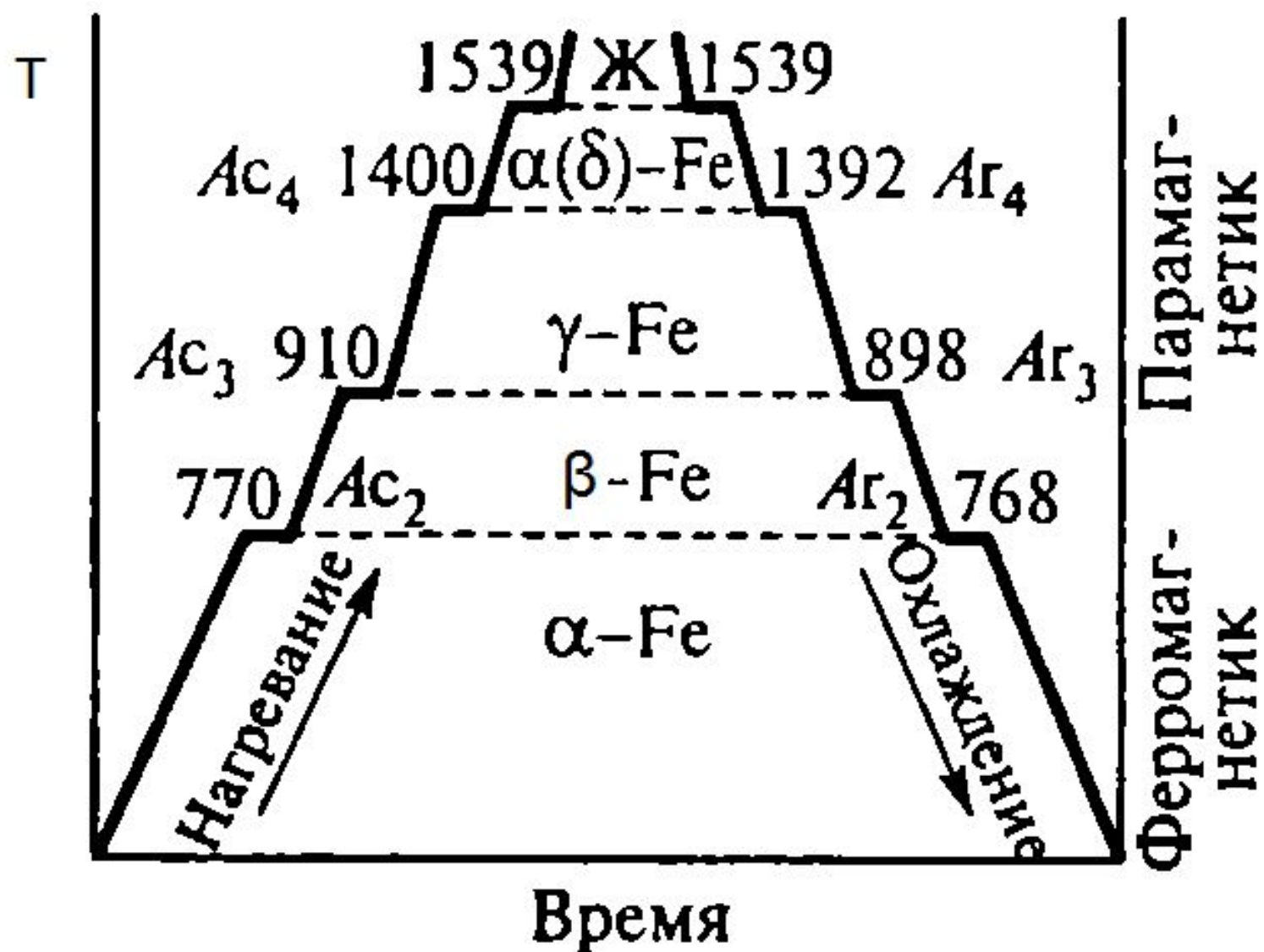
- $911^\circ\text{C} < t < 1392^\circ\text{C}$  – ГЦК -  $\text{Fe}_\gamma$ ;

- $1392^\circ\text{C} < t < 1539^\circ\text{C}$  – ОЦК -  $\text{Fe}_\delta$ ;

( $\text{Fe}_\delta$  – высокотемпературное  $\text{Fe}_\alpha$ )

- Примером **аллотропического видоизменения**, обусловленного изменением давления, является **углерод**: при **низких давлениях** образуется **графит**, а при **высоких** – **алмаз**.

- Явление полиморфизма используется для упрочнения и разупрочнения сплавов при помощи термической обработки.

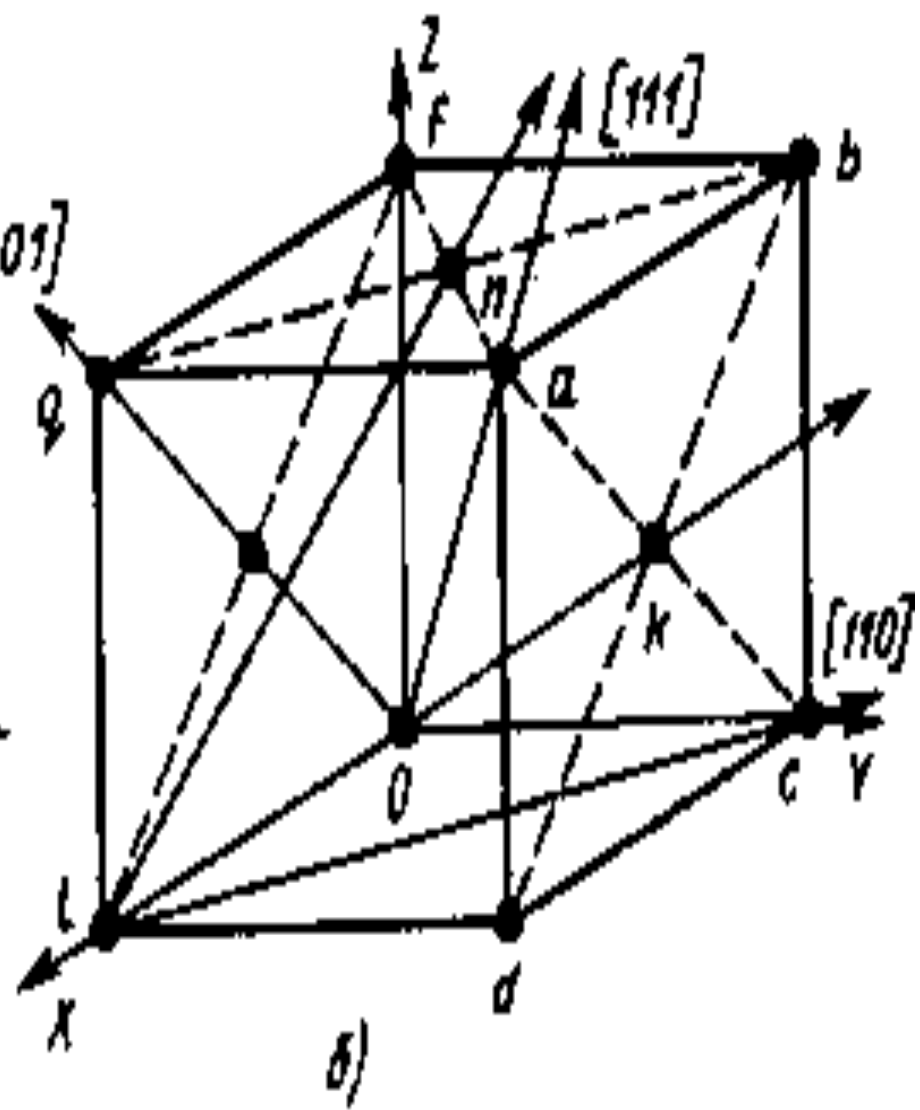
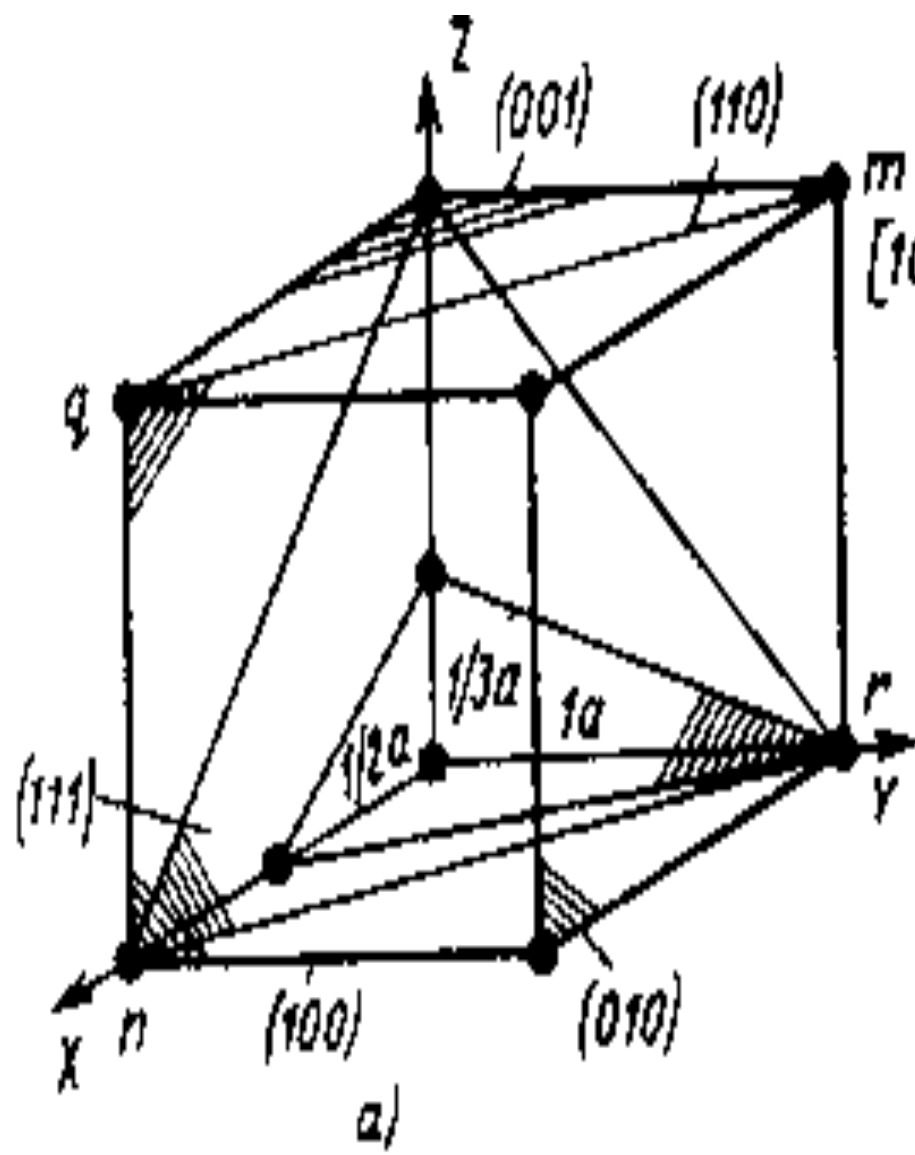


Кривые нагрева и охлаждения железа

## Понятия об изотропии и анизатропии

- Аморфные тела **изотропны**, поскольку характеризуются хаотическим расположением атомов в пространстве. Расстояния между атомами в различных направлениях одинаковы, следовательно, свойства будут также одинаковые.
- В кристаллических телах атомы правильно располагаются в пространстве, причем по разным направлениям расстояния между атомами неодинаковы, что обуславливает существенные различия в силах взаимодействия между ними и, в конечном результате, разные свойства. Зависимость свойств от направления называется

- При изучении кристаллов выделяют кристаллографические плоскости и кристаллографические направления в кристалле.
- Плоскость, проходящая через узлы кристаллической решетки, называется **кристаллографической плоскостью**.
- Прямая, проходящая через узлы кристаллической решетки, называется **кристаллографическим направлением**.
- Элементарную ячейку вписывают в пространственную систему координат (оси X, Y, Z – кристаллографические оси). За единицу измерения принимается период решетки.



# Дефекты кристаллической решетки



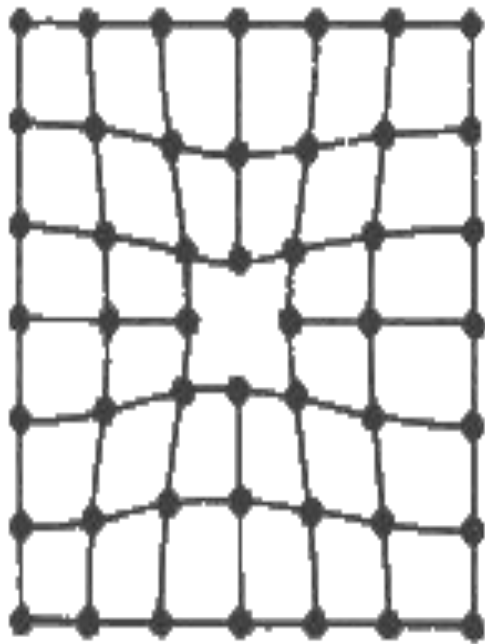
- К дефектам относятся любые нарушения периодичности строения кристаллической решетки: наличие вакансий, атомов (ионов) примесей в узлах и междоузлиях решетки, нарушение стехиометрического состава, трещины, поры и т.п.
- Все дефекты можно подразделить на: **точечные, линейные, поверхностные и объемные.**

**Точечные** (малые во всех трех измерениях):

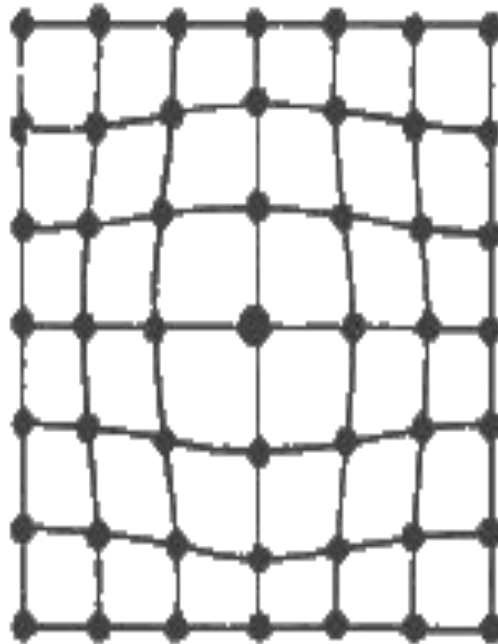
«дырки» – **вакансии**;

**атомы замещения** – чужой атом;

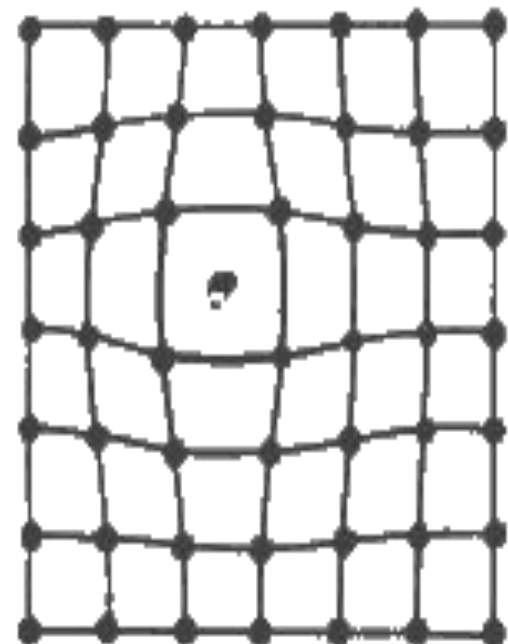
дислоцированный атом – атом в междоузлии  
(**внедрение**);



*a*



*b*

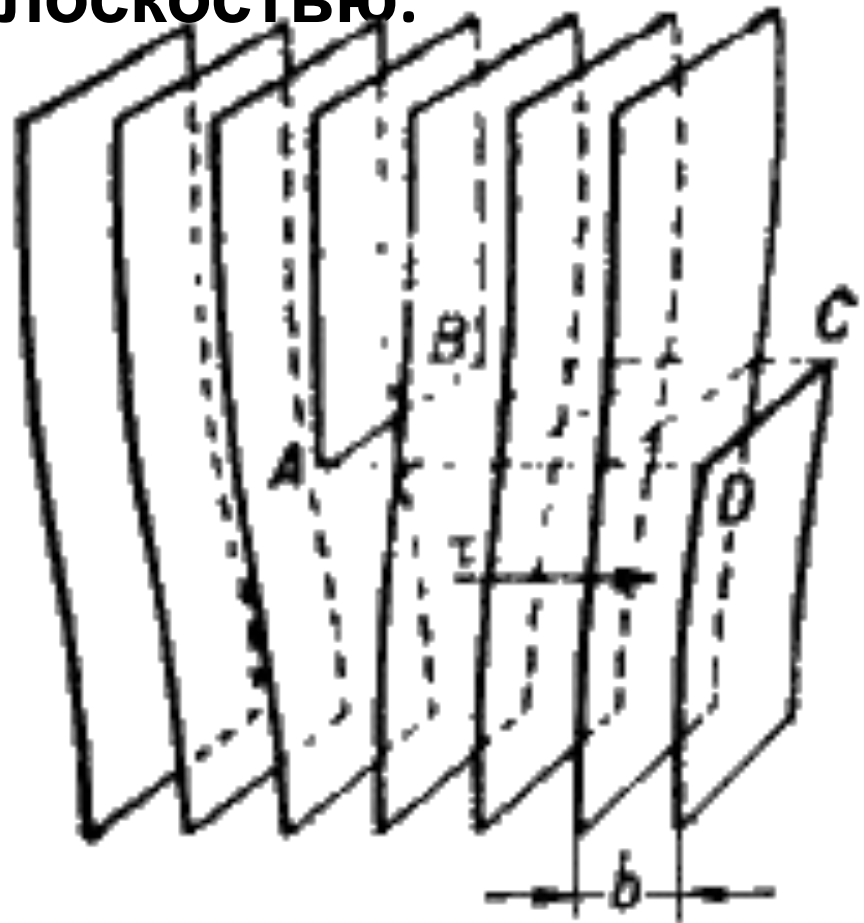


*в*

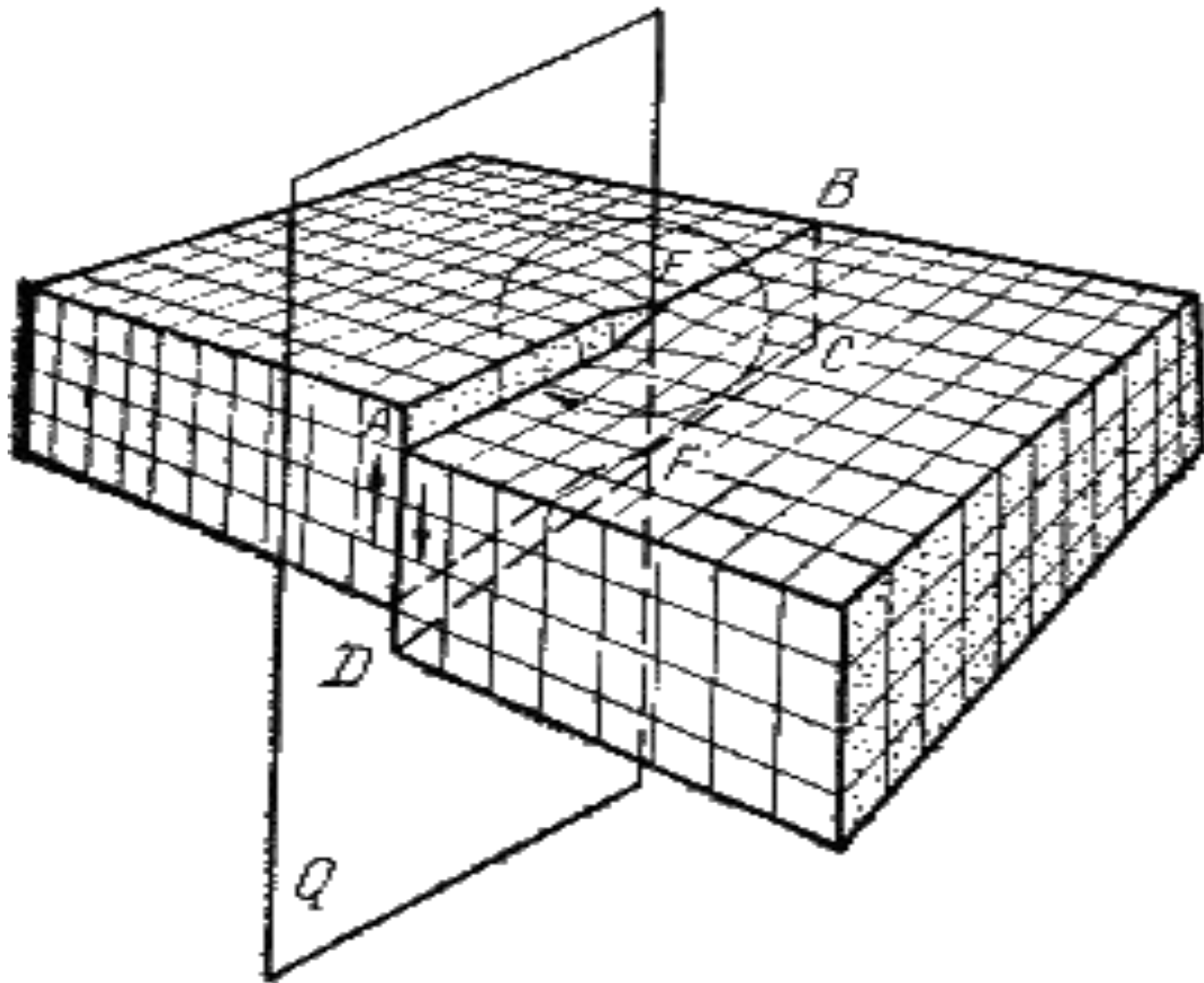
- Линейные дефекты – дислокации
- *Дислокация* – это дефекты кристаллического строения, представляющие собой линии, вдоль и вблизи которых нарушено правильное расположение атомных плоскостей.
- Простейшие виды дислокаций –
  - Краевые
  - Винтовые

**Краевая дислокация – линия, вдоль которой обрывается внутри кристалла край «лишней» полуплоскости.**

**Неполная плоскость называется - экстраплоскостью.**



**Винтовая дислокации** - получена при помощи  
частичного сдвига плоскости  $Q$  вокруг линии  $EF$

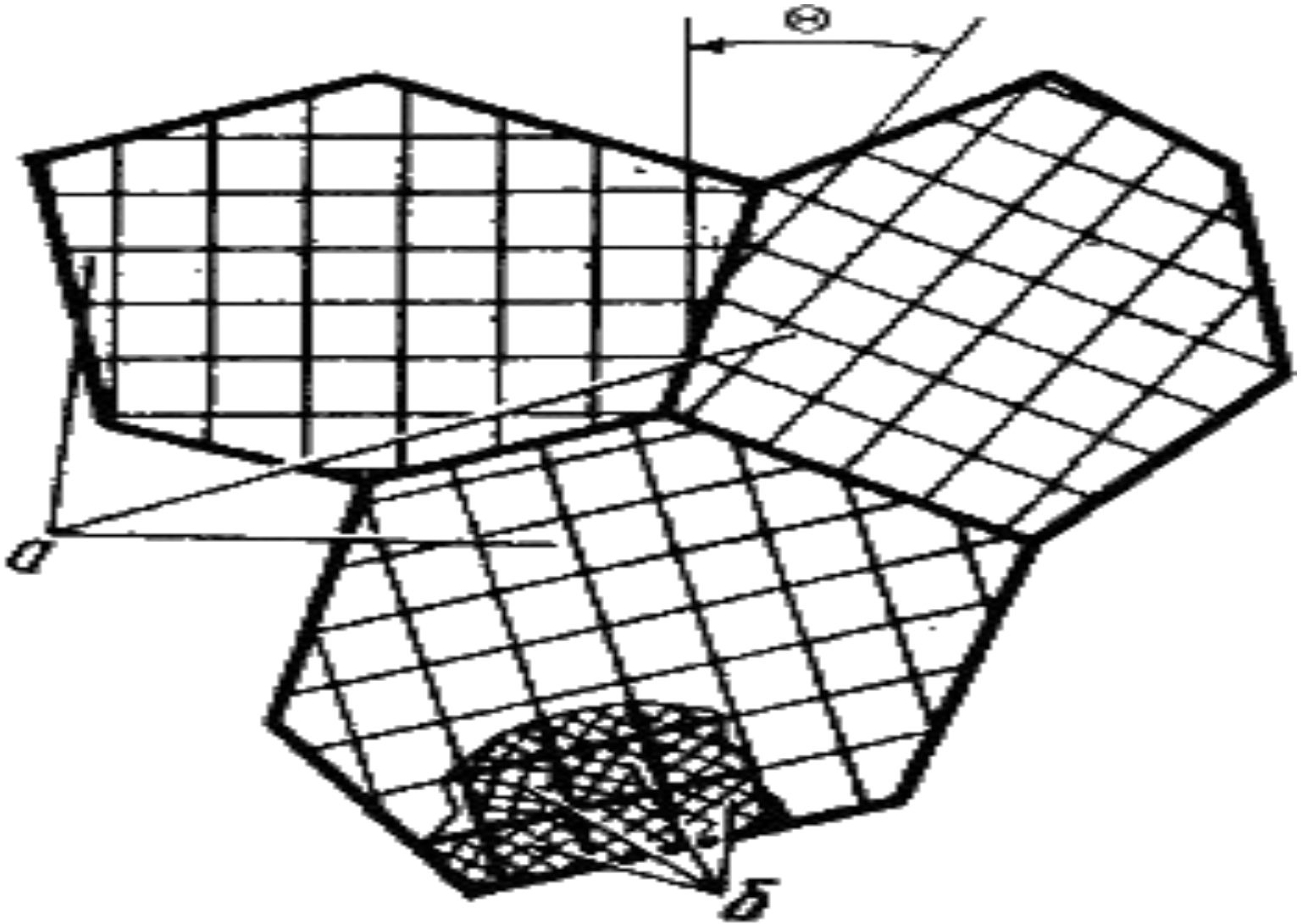


- Дислокационная структура материала характеризуется *плотностью дислокаций*.
- *Плотность дислокаций* в кристалле определяется как среднее число линий дислокаций, пересекающих внутри тела площадку площадью  $1 \text{ м}^2$ , или как суммарная длина линий дислокаций в объеме  $1 \text{ м}^3$

$$\rho = \sum(L)/V, \quad (\text{см}^{-2}; \text{м}^{-2})$$

В реальном кристалле плотность дислокаций достигает  $10^4$ — $10^{12} \text{ см}^{-2}$

**Поверхностные дефекты – границы зерен, фрагментов и блоков. Углы разориентации составляют до нескольких десятков градусов.**



# ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТОВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ



# дислокационная теория пластической деформации.

- **Деформация** — это изменение формы и размеров тела, К деформациям относятся такие явления, как *сдвиг, сжатие, растяжение, изгиб и кручение.*
- **Упругая деформация** — исчезает после снятия нагрузки, не вызывает остаточных изменений в свойствах и структуре металла; под действием приложенной нагрузки происходит незначительное обратимое смещение атомов.
- **Пластическая деформация**, остается после снятия нагрузки, т.е. необратима.



- **Легирование** — это введение в металл небольших количеств специальных примесей, которые приводят к значительным его структурным изменениям. Легирующие добавки взаимодействуют с дислокациями и затрудняют их движение, улучшая механические характеристики.
- **Закалка** — это термическая обработка, заключающаяся в нагреве металла до определенной температуры, выдерживании при этой температуре и контролируемом ускоренном охлаждении. В результате этих операций в металле увеличивается концентрация дефектов, в том числе плотность дислокаций, также образуется мелкозернистая структура. Протяженность границы между зернами возрастает. Сама же граница труднопроходима для дислокаций, что приводит к затруднению их движения и упрочнению металла.
- **Наклеп** — это обработка металлической заготовки путем прокатки,ковки или волочения. В результате пластической деформации металла увеличивается плотность дислокаций (и концентрация других дефектов), а главное — дислокации при этой обработке переплетаются, что приводит к затруднению их движения и упрочнению металла.

**Спасибо за внимание!**