

# Конструкционные и специальные материалы холодильной техники

**Преподаватель**

**Тихомиров Александр Григорьевич**

## Рекомендуемая литература:

Автор	Название	Издательство	Год издания
Основная литература			
Лахтин Ю.М.	Материаловедение Учебник для ВТУЗов	М.: Альянс, -528с.	2011
Быков С.Ю.	Испытания материалов Учебное пособие для ВУЗов	Старый Оскол: ТНТ, -135с.	2012, 2013
Бондаренко Г.Г.	Материаловедение Учебник для бакалавров	М.: Юрайт, -360с.	2013
Дополнительная литература			
Гуляев А.П.	Металловедение Учебник для ВТУЗов	М.: Metallур- гия, - 542с.	1986
<u>Арзамасов Б.Н.</u> , Мухин Г.Г.	Материаловедение Учебник для ВУЗов	М.: Изд-во МГТУ, -646с.	2001- 2005

Интернет ресурсы: [www.jpegator.com](http://www.jpegator.com), [www.twirpx.com](http://www.twirpx.com)

# *ЛЕКЦИЯ №1*

## «СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛОВ»

Вопросы лекции:

1. Введение.
2. Атомно-кристаллическое строение металлов.
3. Строение реальных кристаллов.
4. Методы исследования структуры металлов.

# 1. ВВЕДЕНИЕ

Материаловедение - наука о материалах, связи их химического состава, строения и свойств.

*Предмет изучения дисциплины:*

- конструкционные материалы,
- их служебные свойства,
- методы изменения этих свойств,
- физические явления и процессы, протекающие в материалах под воздействием внешних факторов.

Теоретическая основа материаловедения – соответствующие разделы физики и химии, однако наука о материалах в основном развивается экспериментальным путем.

**Основная цель изучения дисциплины** – дать необходимые для практической работы инженера теоретические знания по основным группам материалов, применяемых в машиностроении, а также выработать умение правильно выбирать материалы и назначать методы их обработки при эксплуатации и ремонте техники.

## 2. Атомно-кристаллическое строение металлов.

Вещества могут находиться в 3 агрегатных состояниях – газообразном, жидком и твёрдом.

**В газах** частицы хаотически двигаются, сталкиваясь одна с другой. В газах нет закономерного расположения частиц.

**В жидкостях** частицы, обладая большой подвижностью, закономерное расположение сохраняют лишь в небольшом объёме пространства (ближний порядок). Ближний порядок неустойчив: он то возникает, то исчезает под действием тепловых колебаний.

**Твёрдые тела** в зависимости от расположения составляющих частиц делятся на аморфные и кристаллические.

**Аморфные тела**, подобно жидкостям, обладают только ближним порядком расположения атомов и по существу являются переохлаждёнными жидкостями. Но в отличие от жидкостей у них сильно понижена подвижность частиц. Аморфные тела изотропны (обладают во всех направлениях одинаковыми свойствами) *и не имеют определённой температуры плавления.*

**Кристаллическими** называются тела, в которых частицы (атомы, ионы) расположены закономерно и периодически. К кристаллическим телам относятся металлы и металлические сплавы.

В технике под металлами понимают вещества, обладающие характерными свойствами: металлическим блеском, высокой электро- и теплопроводностью, пластичностью и способностью образовывать сплавы.

Свойства металлов обусловлены их атомным строением и типом связи между атомами. Различают четыре основных типа связи между атомами:

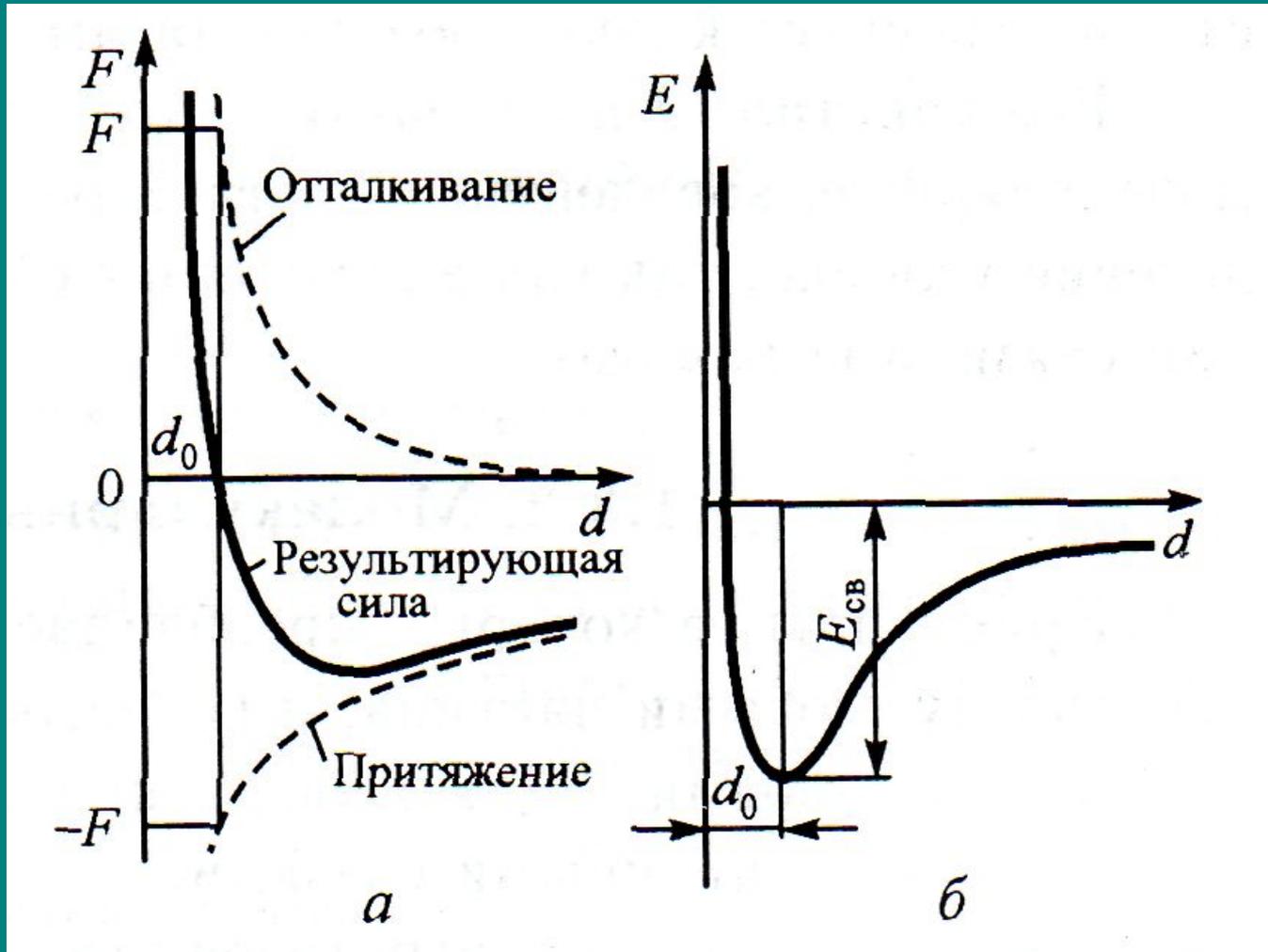
- ионная (гетерополярная),
- ковалентная (гомеополярная),
- полярная (связь Ван-дер-Ваальса),
- металлическая.

Характерной особенностью первых трех связей является наличие направленных сил связи между отдельными атомами. При направленной связи каждый атом объединяется только с определенными атомами.

Металлический тип связи осуществляется между атомами, когда число валентных электронов в атоме мало.

В этом случае свободных электронных оболочек значительно больше, чем электронов для их заполнения. Поэтому электроны отрываются от своих атомов и свободно перемещаются в разных направлениях по незанятым электронным оболочкам между положительно ионизированными атомами (ионами), образуя вокруг них свободный, так называемый, электронный газ.

# Силы взаимодействия атомов в кристалле (а) и энергия связи (б).



Частицы в кристалле сближаются на определенное расстояние, которое обеспечивает кристаллу наибольшую термодинамическую стабильность. Расстояние, на которое сближаются частицы, определяется взаимодействием сил, действующих в кристалле.

- **Силы притяжения** возникают благодаря взаимодействию электронов с положительно заряженным ядром собственного атома, а также с положительно заряженными ядрами соседних атомов.
- **Силы отталкивания** образуются в результате взаимодействия положительно заряженных ядер соседних атомов при их сближении. Они проявляются при сильном сближении и растут интенсивнее, чем силы притяжения

# Энергия межатомных связей и свойства металлов

Металл	$E_{св}$ , кДж/мол Б	$T_{пл}$ , °C	$\alpha \cdot 10^6$ , °C <sup>-1</sup> (25-100°C)	$E$ , ГПа	$Q_{диф}$ , кДж/мол Б	$\gamma$ , г/см <sup>3</sup> (25°C)
Mg	151	650	26	45	134	1.7
Al	232	660	24	71	142	2.7
Cu	340	1083	16	121	197	8.9
Be	-	1284	12	310	160	1.8
Fe	396	1539	12	214	250	7.8
Ti	419	1665	9.9	112	122	4.5
Zr	460	1852	9.6	70	92	6.5
Cr	-	1875	6.2	280	310	7.1
V	-	1919	8.7	135	398	6.1
Nb	-	2468	7.2	124	398	8.6
Mo	670	2625	5.1	334	424	10.2
Ta	-	3000	6.5	185	460	16.6
W	880	3410	4.4	420	500	19.3

# Классификация металлов

Каждый металл отличается строением и свойствами от другого, тем не менее по некоторым признакам их можно объединить в группы (по А.П.Гуляеву). Прежде всего, все металлы можно разделить на две большие группы – чёрные и цветные металлы.

**Чёрные металлы** имеют тёмно-серый цвет, большую плотность (кроме щёлочноземельных), высокую температуру плавления, относительно высокую твёрдость и во многих случаях обладают полиморфизмом (об этом ниже). Наиболее типичным металлом этой группы является железо.

**Цветные металлы** чаще всего имеют характерную окраску: красную, жёлтую, белую. Обладают большой пластичностью, относительно низкой температурой плавления, для них характерно отсутствие полиморфизма. Наиболее типичным представителем этой группы является медь.

# Чёрные металлы

- 1. Железные металлы** – железо (Fe), кобальт (Co), никель (Ni) (так называемые ферромагнетики) и близкий к ним по свойствам марганец (Mn). Кобальт, никель и марганец часто применяют как добавки к сплавам железа, а так же в качестве основы для соответствующих сплавов, похожим по своим свойствам на высоколегированные стали.
- 2. Тугоплавкие металлы**, температура плавления которых выше, чем у железа (т.е. выше 1539 градусов Цельсия). Их применяют как добавки к легированным сталям, а так же в качестве основы для соответствующих сплавов (W, Mo, Ta, V, Cr, Ti).
- 3. Урановые металлы** – актиниды, имеющие преимущественное применение в сплавах для атомной энергетики.
- 4. Редкоземельные металлы (РЗМ)** – лантан (La), церий (Ce), неодим (Nd), празеодим (Pr) и др., объединяемые под названием лантаноидов и сходные с ними по свойствам иттрий (Y) и скандий (Sc). Эти металлы обладают весьма близкими химическими свойствами, но довольно различными физическими (температура плавления и др.). Их применяют как присадки к сплавам других элементов.
- 5. Щелочноземельные металлы** в свободном металлическом состоянии не применяются, за исключением специальных случаев. К ним относят: литий (Li), натрий (Na), калий (K), кальций (Ca), цезий (Cs), барий (Ba) и др.

# Цветные металлы

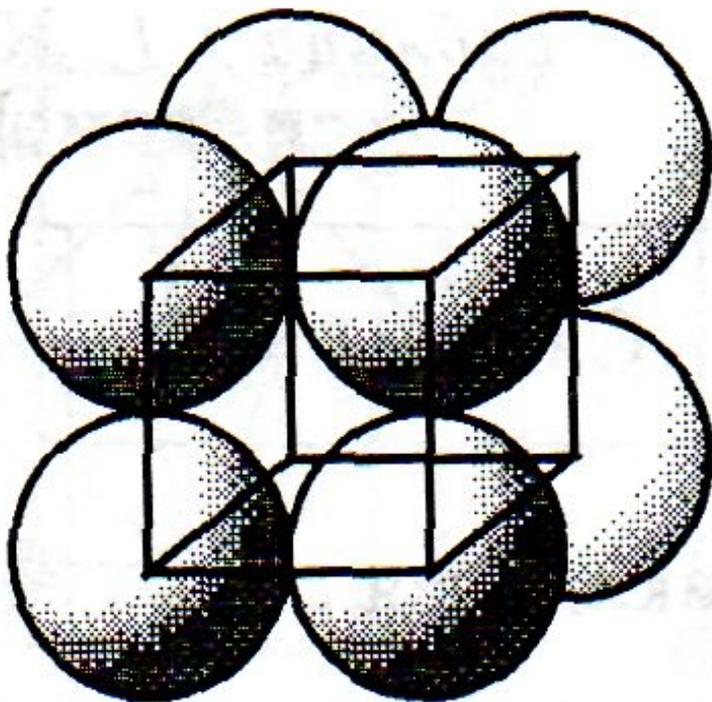
- 1. Лёгкие металлы** – бериллий (Be), магний (Mg), алюминий (Al), обладающие малой плотностью.
- 2. Благородные металлы** – серебро (Ag), золото (Au), металлы платиновой группы (платина (Pt), палладий (Pd), иридий (Ir), осмий (Os), рутений (Ru). К ним может быть отнесена и «полублагородная» медь - обладают высокой устойчивостью против коррозии.
- 3. Легкоплавкие металлы** – цинк (Zn), кадмий (Cd), олово (Sn), свинец (Pb), висмут (Bi), таллий (Tl), сурьма (Sb) и элементы с ослабленными металлическими свойствами – галлий (Ga).

Металлы являются телами кристаллическими. В кристаллическом теле атомы (ионы) располагаются в строго определенном порядке и в пространстве образуют, так называемую, кристаллическую решетку.

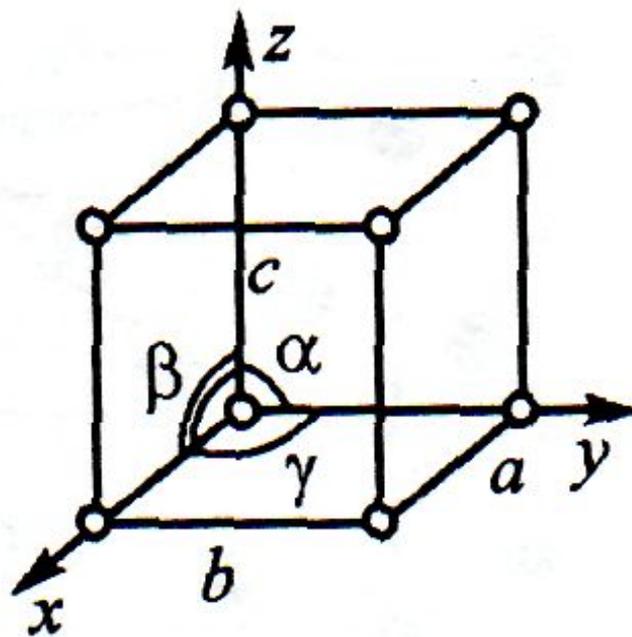
**Кристаллическая решетка** – воображаемая пространственная сетка, в узлах которой располагаются атомы (ионы).

Атомы в кристаллической решетке стремятся расположиться по возможности плотнее (ближе) друг к другу. Каждый атом в кристаллической решетке находится в одинаковом окружении, т.е. имеет вокруг себя одинаковое количество атомов, находящихся на равном расстоянии.

Наиболее простой и распространенной среди металлов является кубическая система, при которой элементарная ячейка представляет собой куб.



*a*



*б*

Для атомов одного размера имеется ограниченное число (14) возможных вариантов расположения атомов в пространстве.

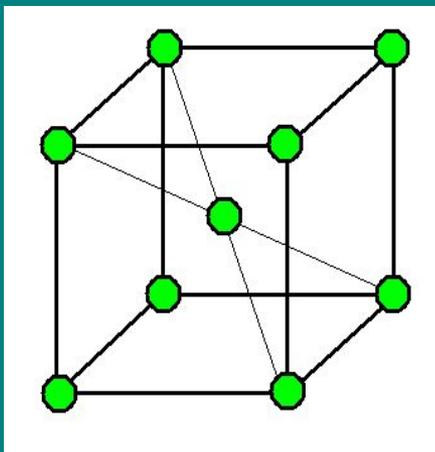
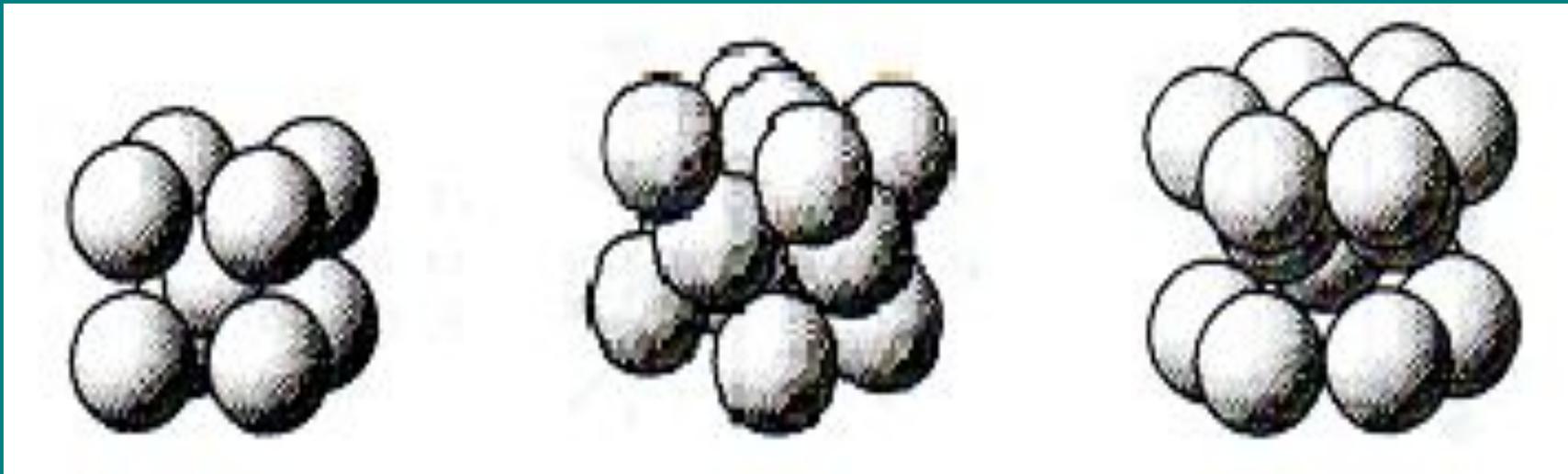
Гипотеза о том, что в кристаллах частицы (атомы) располагаются закономерно была выдвинута в 1860 году Федоровым Е.С. и экспериментально подтверждена в 1912 году М. Лауэ, изучавшего структуру кристаллов при помощи рентгеновских лучей, открытых К. Рентгеном в 1895 году.

**Элементарная ячейка** - комплекс атомов, который при своем многократном повторении в пространстве позволяет воспроизводить пространственную кристаллическую решетку.

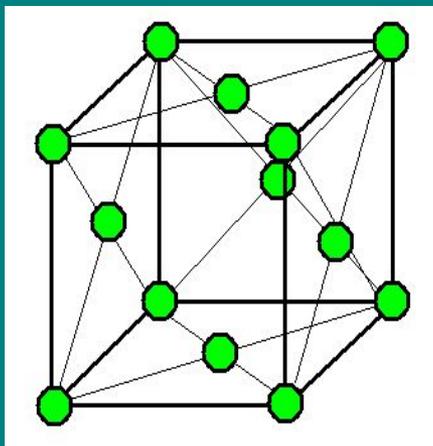
Метод изображения кристаллической решетки является условным (более правильное изображение – шары).

В зависимости от взаимного расположения атомов в кристалле металла различают следующие основные типы пространственных кристаллических решеток:

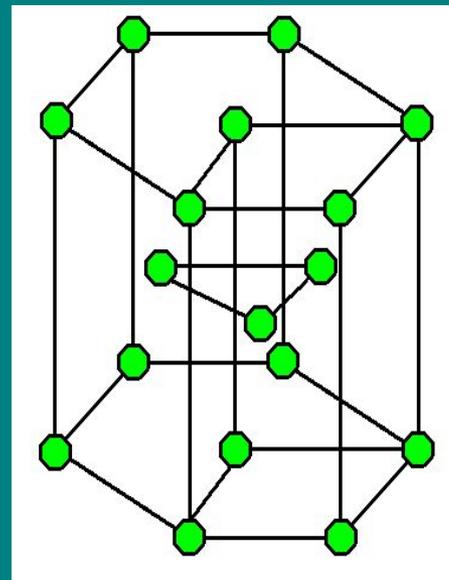
- простая кубическая (К6);
- кубическая объемно-центрированная (К8);
- кубическая гранецентрированная (К12);
- гексагональная плотноупакованная (Г12);



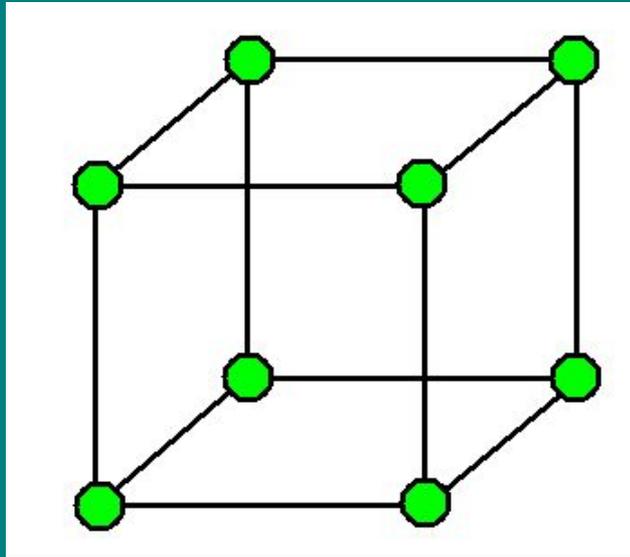
a



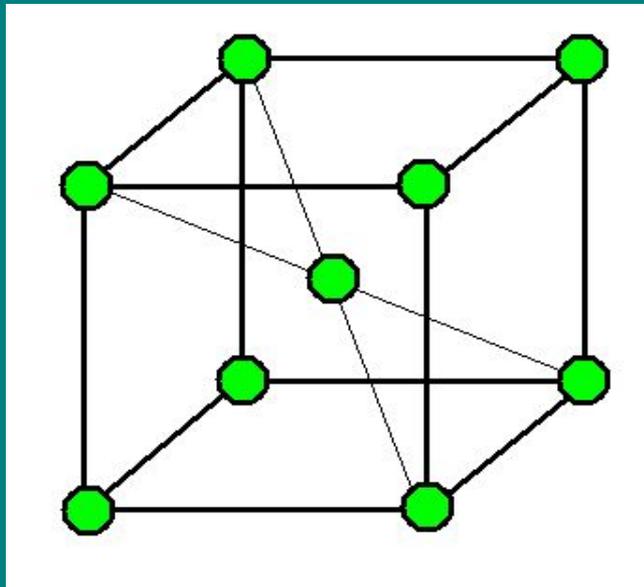
б



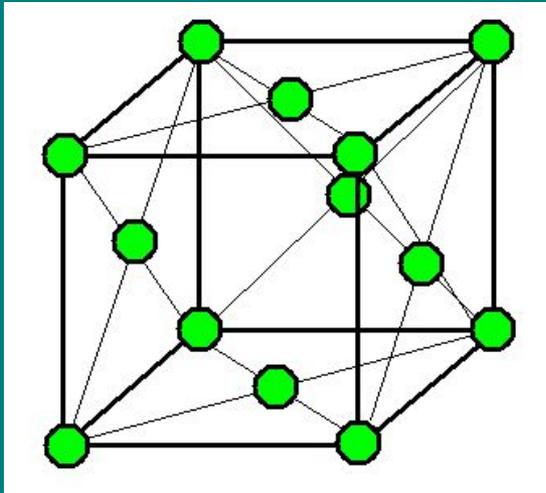
в



простая  
кубическая

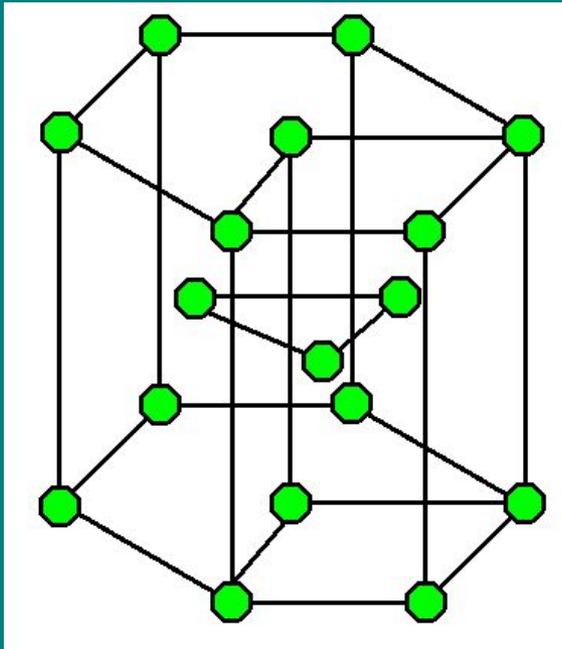


кубическая  
объемно-  
центрированная  
(КОЦ)



кубическая  
гранецентрированн  
ая

(КГЦ)



гексагональная  
плотнупакованная

(ГПУ)

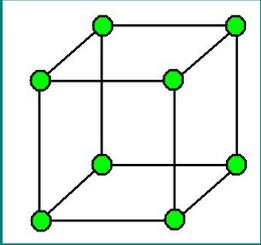
## Основные параметры кристаллической решетки :

- *период решетки* – расстоянием между центрами соседних атомов, находящихся в узлах кристаллической решетки;
- *координационное число* – количество атомов, находящихся от данного атома на одинаковом и минимальном расстоянии. Координационное число характеризует взаимную связь атомов друг с другом;
- *базис кристаллической решетки* – число атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку. Базис характеризует плотность решетки;
- *коэффициент компактности* – отношением объема, занимаемого атомами ко всему объему решетки.

Координационное  
число

Базис

Коэффициент  
компактности

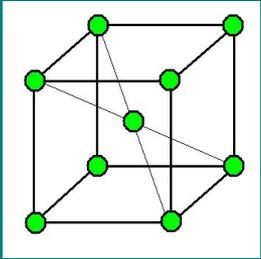


КУБ

К6

8

52%

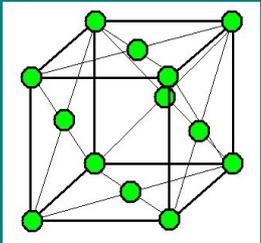


КОЦ

К8

9

68%

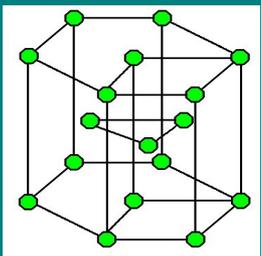


КГЦ

К12

14

74%



ГПУ

К12

17

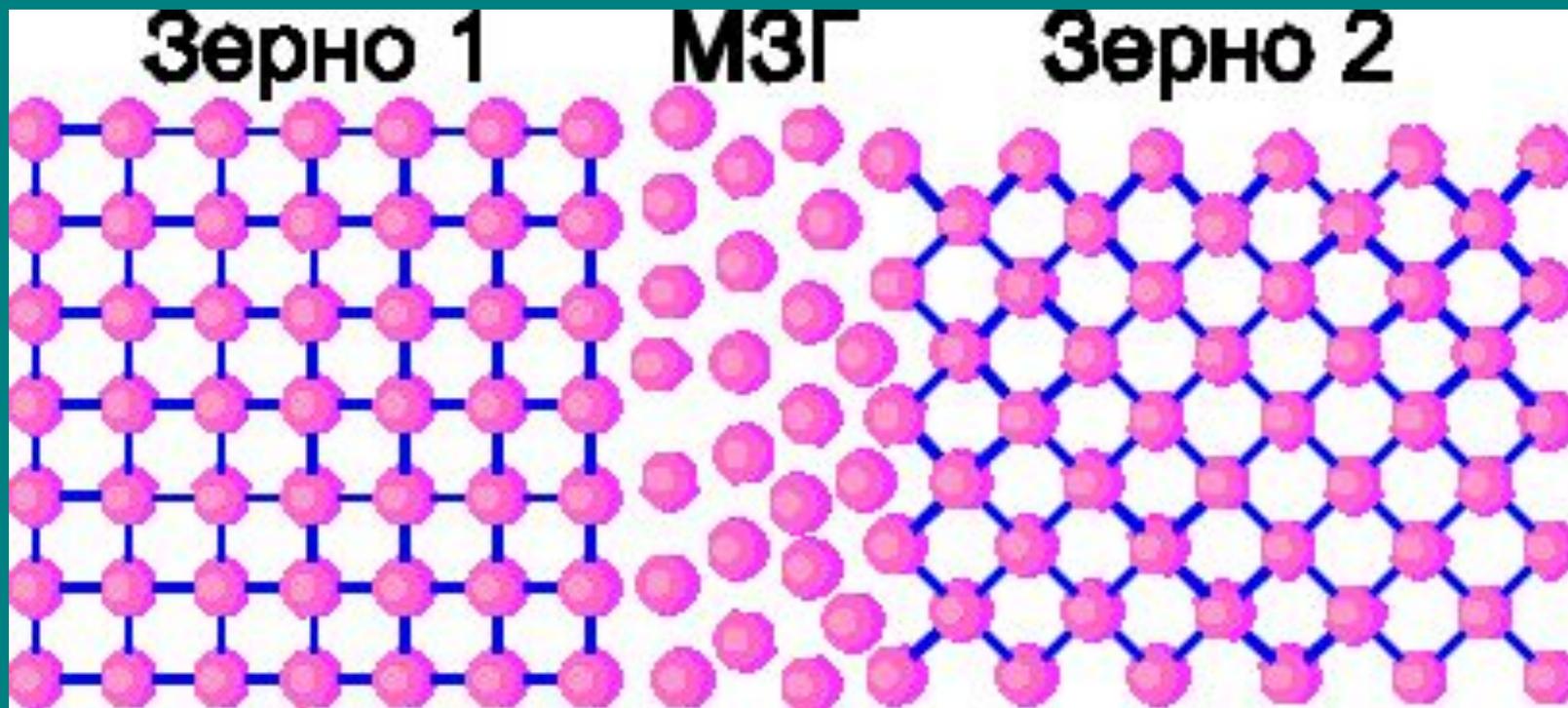
74%

### 3. Строение реальных кристаллов

Реальные металлы и сплавы состоят не из одного монокристалла, а из большого числа кристаллов, различно ориентированных в пространстве. Такое тело называется поликристаллическим. Кристаллы поликристаллического тела, имеющие неправильную форму, носят название кристаллитов (зерен).

Кристаллиты (зерна) имеют мозаичное или блочное строение. Блок представляет собой элементарную частичку кристаллита и имеет правильное кристаллическое строение. Размеры блоков колеблются от сотен долей микрона до нескольких микрон. На границах блоков образуется область с неправильным расположением атомов.

# Межзеренные границы



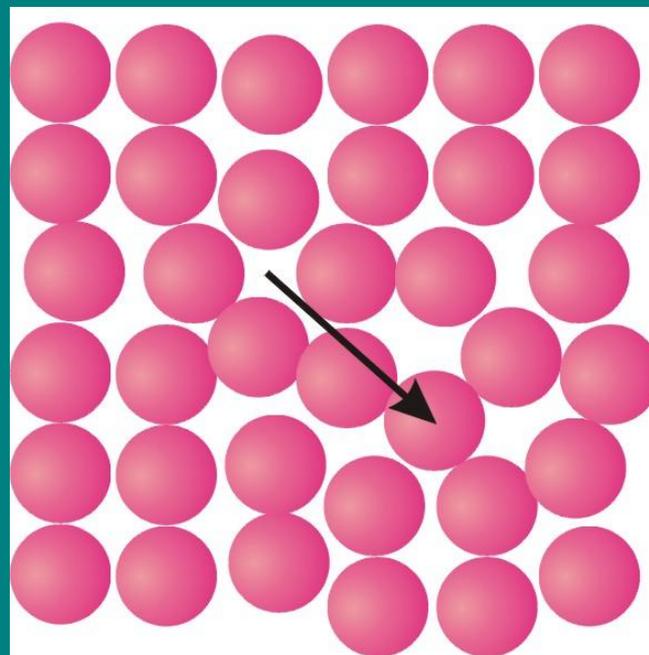
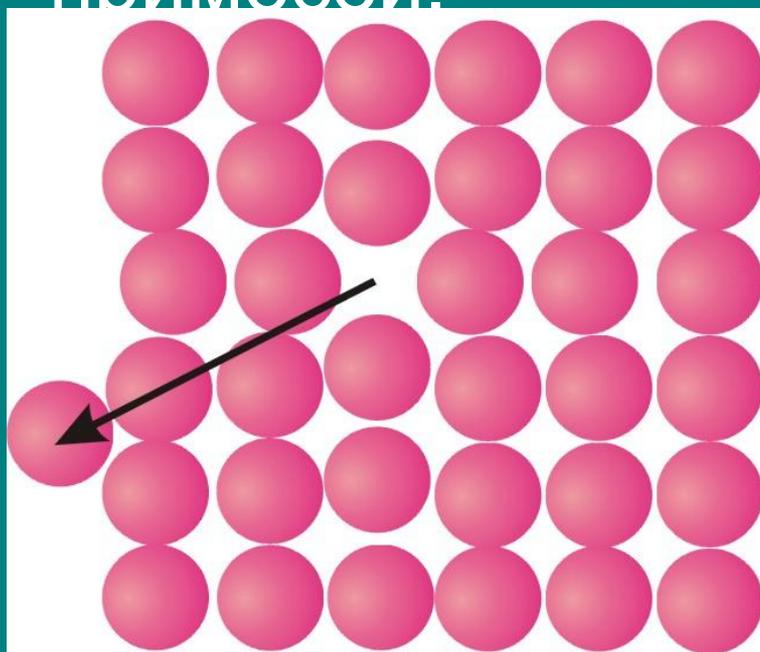
Поверхностные дефекты - дефекты, размер которых мал только в одном направлении, относятся границы между блоками, границы между зёрнами, поверхности раздела между отдельными твёрдыми фазами и т.д.

Реальные кристаллы могут обладать и другими структурными несовершенствами или дефектами, т.е. отклонениями от правильного геометрического строения.

Все несовершенства кристаллической решетки искажают последнюю и оказывают большое влияние на свойства. Особенно сильно кристаллическая решетка искажается на границах зерен. Несοвершенства кристаллического строения могут образовываться в процессе кристаллизации, а также при последующей обработке.

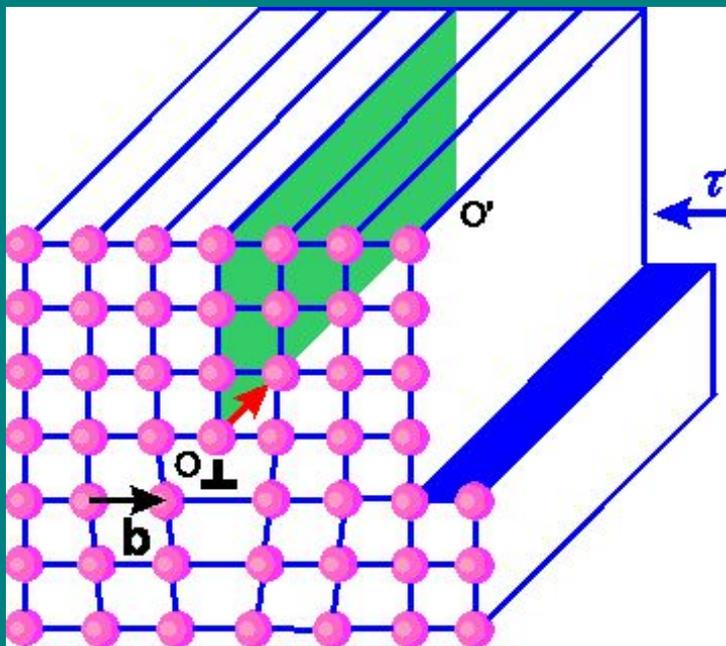
Все несовершенства (дефекты) строения кристаллических тел могут быть разделены на три группы: точечные, линейные и поверхностные.

**Точечные** - дефекты, размер которых мал во всех трех измерениях. Это могут быть вакансии, т.е. свободные узлы в кристаллической решетке (дефект Шоттки), промежуточные атомы, смещенные из нормального положения в междоузлие (дефект Френкеля), а также атомы примесей.

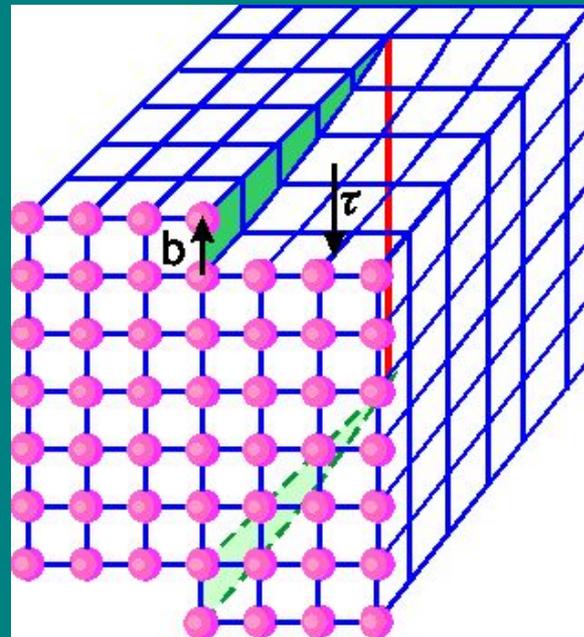


**Линейные** - дефекты, размер которых мал только в двух измерениях, в отличие от точечных, распространяются на значительную длину. К ним относятся цепочки вакансий и других точечных дефектов, а также дислокации (краевые и винтовые)

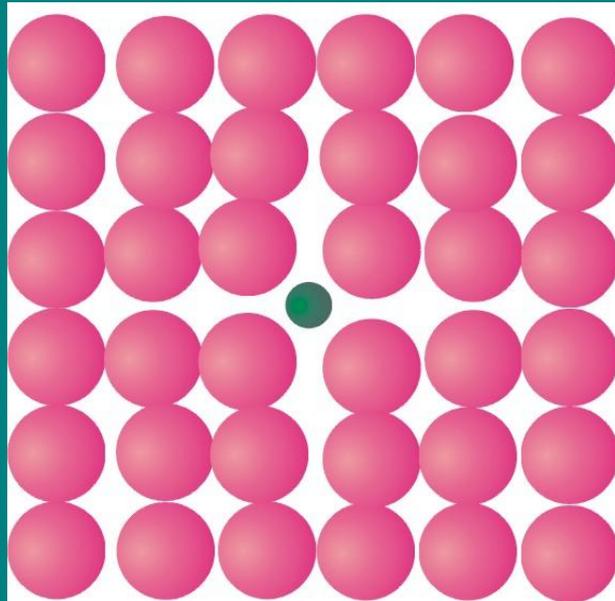
### Краевая дислокация



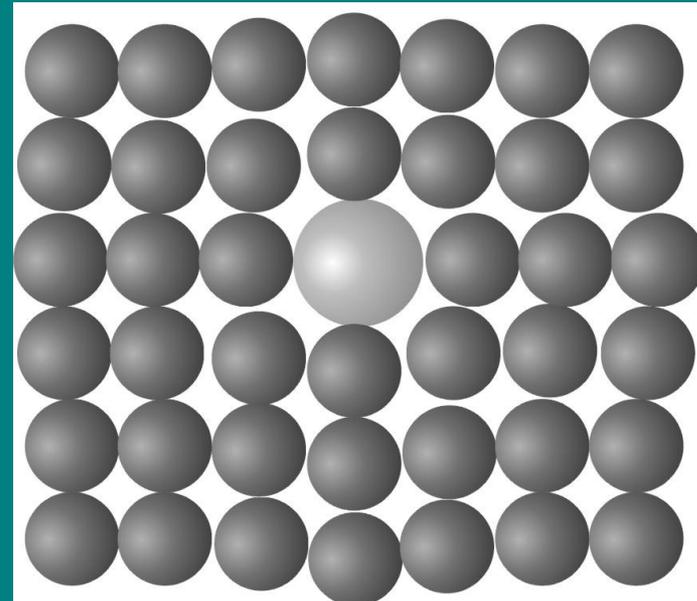
### Винтовая дислокация



# Примесный атом внедрения



# Примесный атом замещения



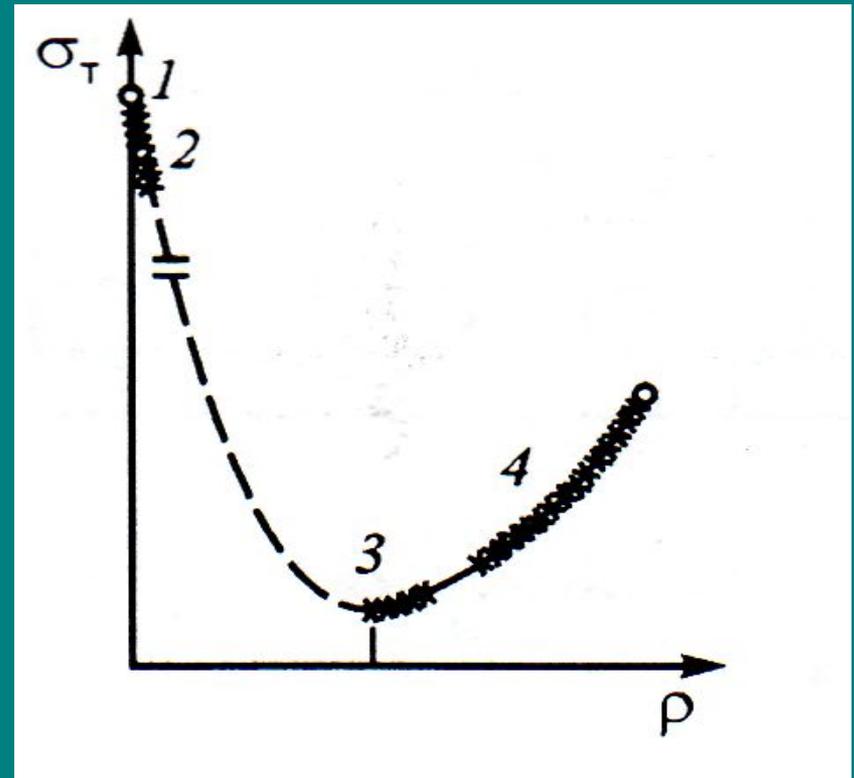
Дислокации появляются при кристаллизации и деформации кристалла, например, за счет сдвига или схлопывания вакансионных полостей. Дислокационные линии не обрываются внутри кристалла, они выходят на его поверхность, заканчиваются на других дислокациях или образуют замкнутые дислокационные петли.

Плотность дислокаций — это суммарная длина всех линий дислокаций в единице объема. У отожженных металлов она равна  $10^6$  —  $10^8$  см<sup>-2</sup>. При холодном пластическом деформировании плотность дислокаций возрастает до  $10^{11}$  -  $10^{12}$  см<sup>-2</sup>. Попытка увеличить плотность свыше  $10^{12}$  см<sup>-2</sup> быстро приводит к появлению трещин и разрушению металла.

Особенно велико влияние дислокаций на прочность кристаллов. Благодаря подвижным дислокациям экспериментально определенный предел текучести металлов в 1000 раз меньше теоретического значения.

### Зависимость предела текучести от плотности дислокаций:

- 1 - идеальный кристалл без дефектов;
- 2 - бездефектные кристаллы «усы»;
- 3 - отожженные металлы;
- 4 - металлы с увеличенной плотностью дефектов после обработки.



## 4. Методы исследования структуры металлов

Структура металла - форма, размеры и характер взаимного расположения соответствующих фаз в металлах и сплавах. Различают макроструктуру и микроструктуру.

**Макроструктура** - строение металла или сплава, видимое невооруженным глазом или при увеличении до 30 раз.

**Микроструктура** - строение металла или сплава, наблюдаемое с помощью микроскопа при больших увеличениях.

## Макроанализ позволяет установить:

- строение металла (зернистое, дендритное), наличие и характер распределения зон кристаллизации, усадочной рыхлости, пузырей, трещин и т.д.;
- химическую неоднородность, получаемую в процессе кристаллизации (ликвацию);
- строение металла после горячей обработки давлением (прокатки, штамповки,ковки и т.д.);
- неоднородность состава и структуры, создаваемую термической или химико-термической обработкой;
- характер излома металла (характер разрушения металла: вязкое, хрупкое, усталостное).

Микроструктура определяется микроанализом – исследование внутреннего строения металла с помощью оптического или электронного микроскопов.

Микроструктура показывает размер и форму зерен, взаимное расположение фаз, их форму и размеры. Для определения микроструктуры из исследуемого металла изготавливают микрошлиф, т.е. небольшой образец, одну из плоскостей которого тщательно шлифуют, полируют и подвергают травлению специальными реактивами.

## Разрешающие способности микроскопов:

- оптический микроскоп не превышает 0,2 мкм. Полезное увеличение достигает около 2000 раз.
- электронный микроскоп – до 0,2-0,5 нм. Увеличение электронного микроскопа достигает 50-100 тыс. раз.

Для изучения атомно-кристаллического строения применяют рентгеноструктурный анализ. Он основан на дифракции рентгеновских лучей с очень малой длиной волны (0,02-0,2 нм) рядами атомов в кристаллическом теле.