«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
Кафедра «Материаловедение и технология обработки материалов»

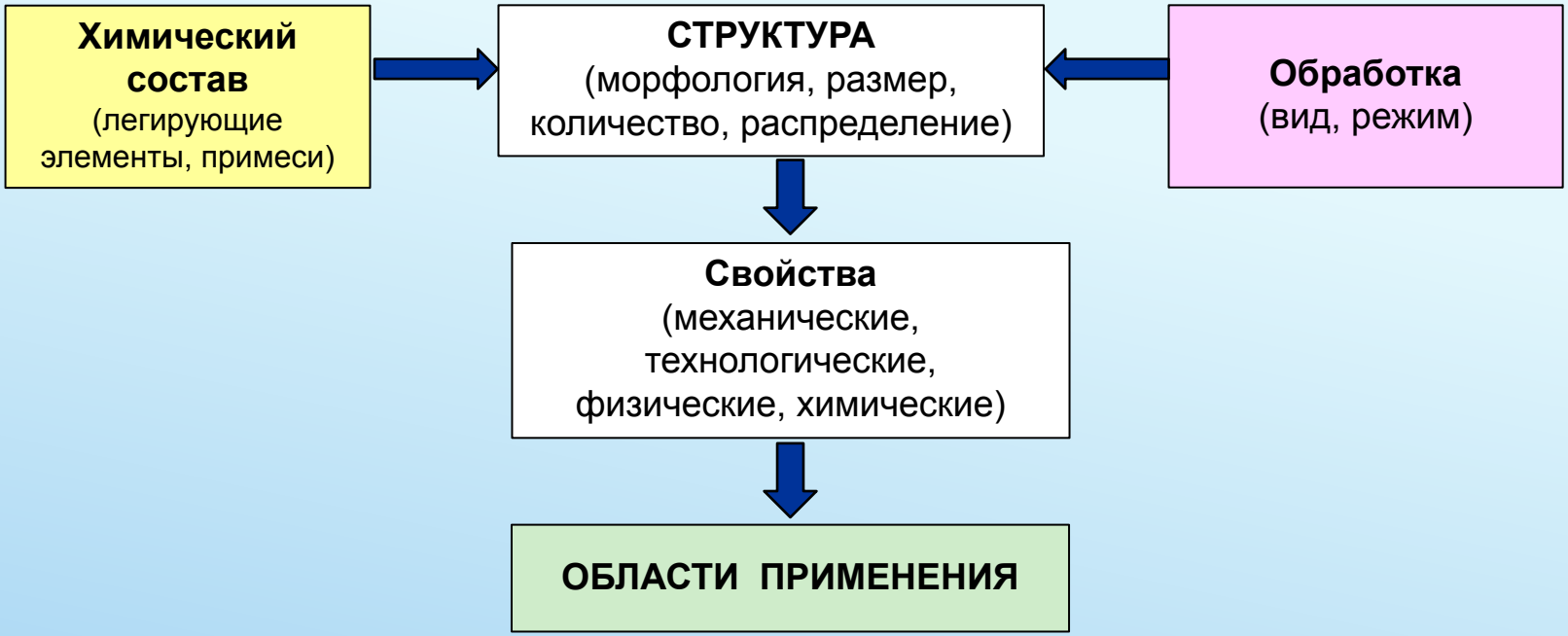
Дисциплины: «Материаловедение-1»,
«Материаловедение и технологии конструкционных материалов»

Раздел -1
Общие вопросы материаловедения

Лекция-1
СТРОЕНИЕ РЕАЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ

доцент, к.т.н., доцент каф. «МиТОМ»
Гвоздева О.Н.

ВВЕДЕНИЕ В ДИСЦИПЛИНУ «МАТЕИАЛОВЕДЕНИЕ»



Задачи материаловедения:

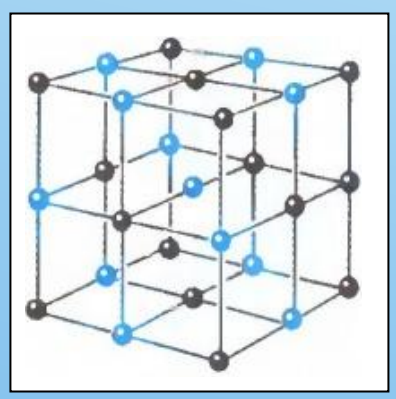
1. Установить взаимосвязь между составом, строением и свойствами материала
2. Сформировать знания о принципах управления структурой и свойствами материалов.
3. Изучить способы воздействия на материал для изменения его строения и свойств.

1.1. КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛОВ

Металлы – один из основных классов конструкционных материалов, характеризующийся определённым набором свойств:

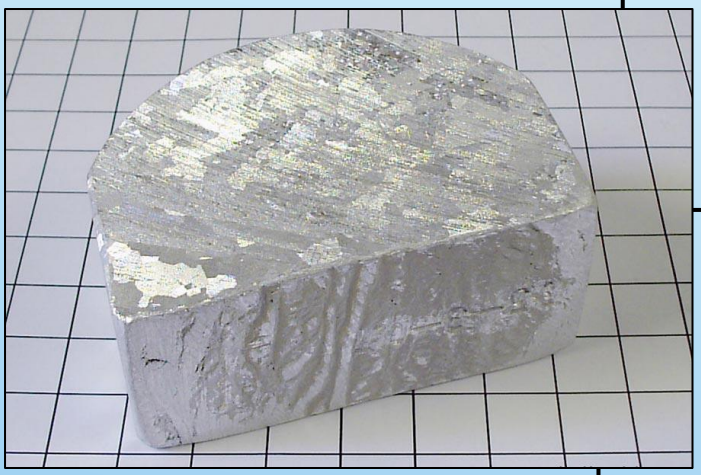
Металлы характеризуются следующим набором свойств:

- кристаллическая решётка;
- характерный металлический блеск;
- постоянная температура кристаллизации;
- способность к упругой и пластичной деформации;
- высокая теплопроводность и электропроводность;

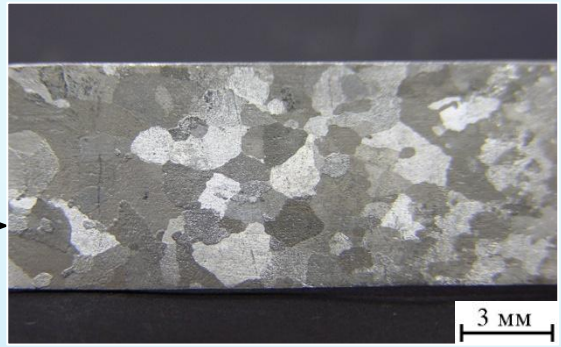


Внутреннее строение металлов рассматривается с трех позиций:

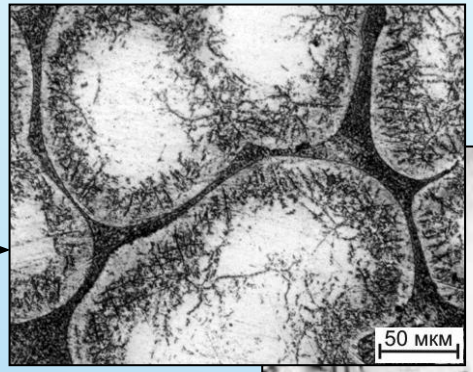
АЛЮМИНИЙ

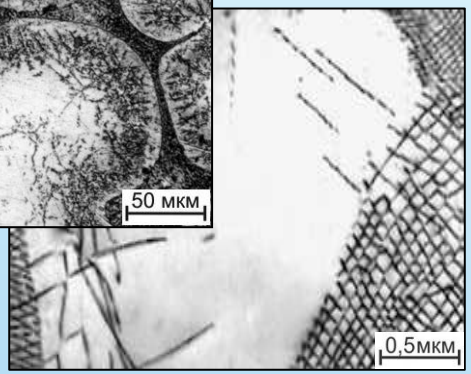


Макро структура

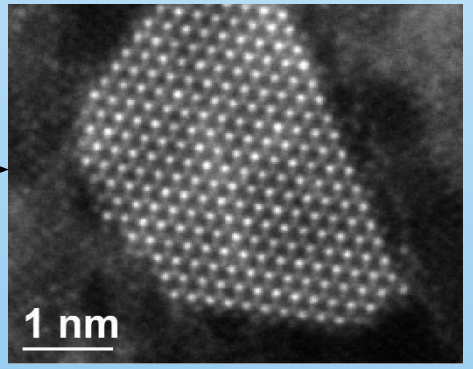


Микро структура



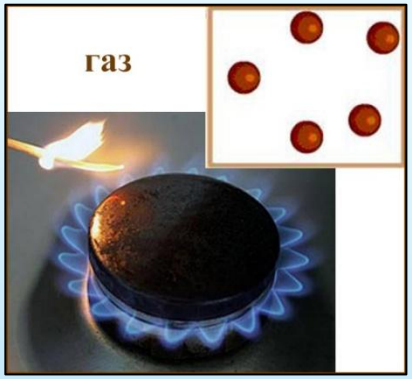


Атомная структура



Фильм. Полёт в глубь алюминиевой рамы (ВелоРамы)

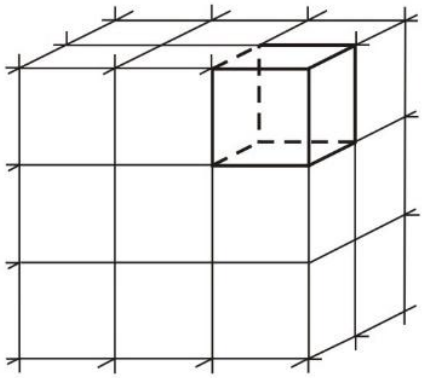
Атомная (кристаллическая структура металла):



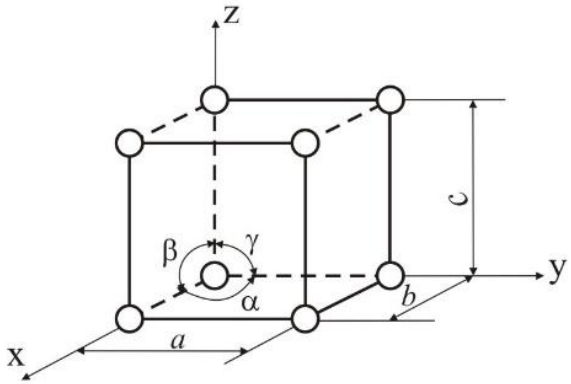
Кристаллическая решетка (решётки Браве) – это трёхмерная схема, отражающая закономерность расположения атомов в кристаллической структуре твёрдого вещества. Она характеризуется каркасом в виде геометрического тела, в узлах которого расположены малоподвижные атомы (рис. а).

Всю бесконечную решетку можно разбить на одинаковые элементарные ячейки с ребрами

Элементарная кристаллическая решетка − это наименьший объем кристалла перемещение которого даёт представление об атомно-кристаллической структуре металла во всем объеме (рис. б).



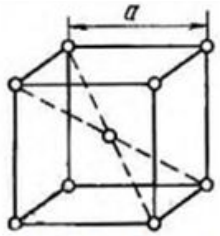
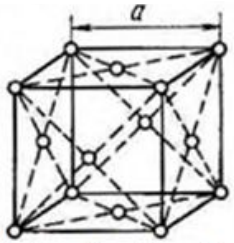
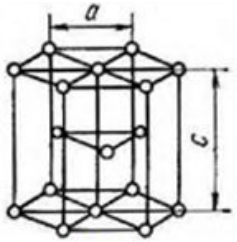
а) Пространственная решётка



б) элементарная ячейка

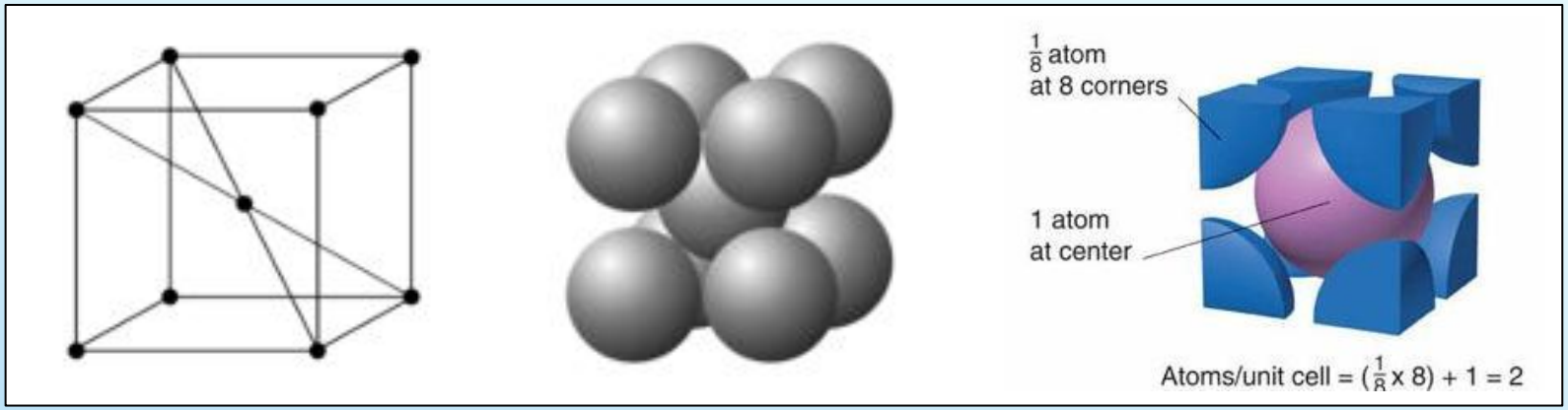
Всего существует 14 видов решёток Браве, которыми может быть описана структура любого металла. Решётки Браве делятся на 7 сингоний и 4 типа:

- Сингонии - классифицируют по параметрам элементарной ячейки:
- Типы - классифицируют по местоположению атомов:

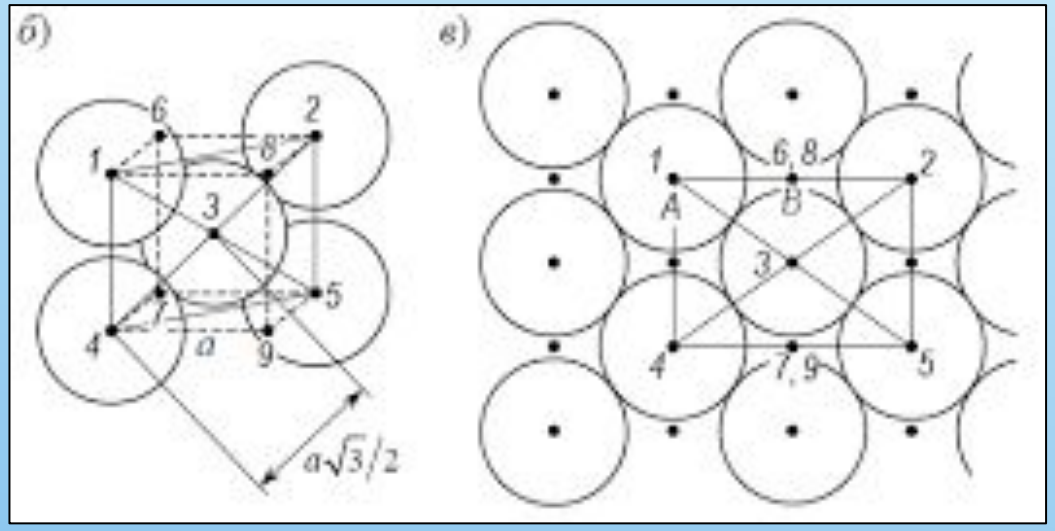
	ОЦК	ГЦК	ГПУ
	 Pb, W, Cr, Fe_{α}, Ti_{β},	 Ni, Cu, Ag, Fe_{γ}, Co_{α}	 Zn, Be, Ti_{α}, Co_{β}
Периоды ячейки ***(a, b, c)*** **–** расстояния между центрами ближайших атомов	$a = b = c$	$a = b = c$	$a = b \neq c$
Углы между осями ***(α, β, γ)***	$\alpha = \beta = \gamma = 90°$	$\alpha = \beta = \gamma = 90°$	$\alpha = \beta = 90°$, $\gamma = 120°$
Координационное число ***(K)*** **–** число атомов, расположенных на одинаковом близком расстоянии	8	12	12
Базис решетки (коэффициент компактности) – число атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку решетки	2	4	6
Плотность упаковки атомов – объём, занятый атомами.	0,68	0,74	0,74

Объяснение параметров кристаллической решётки на примере ОЦК решётки

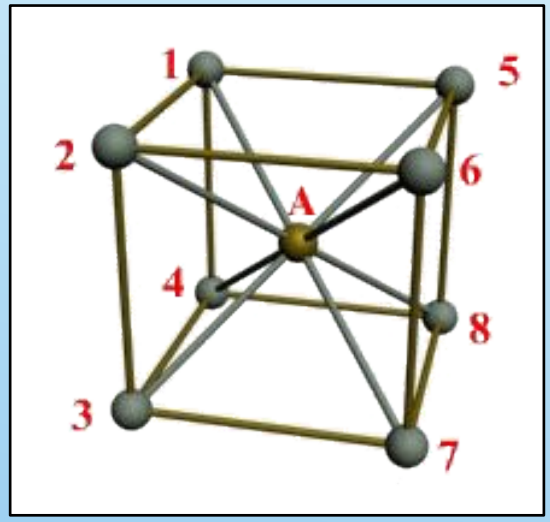
Объяснение базиса решётки



Объяснение плотности упаковки



Объяснение координационного числа



Кристаллографические плоскости и направления

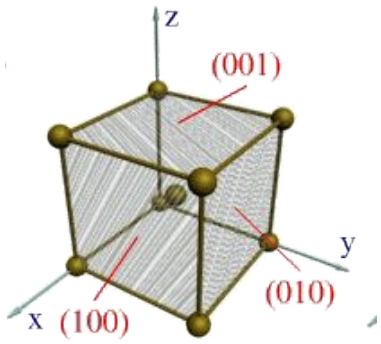
Индексы Миллера − это кристаллографические индексы, характеризующие расположение атомных плоскостей и направлений в кристалле. Индексы Миллера связаны с тремя осями координат (X, Y, Z) и отсекаемыми от них отрезками или направлениями построения.

Кристаллографические плоскости *(h k l)* − это плоскости, на которых лежат атомы, например, грани куба или различные диагональные плоскости с находящимися на них атомами (рис. а, б, в).

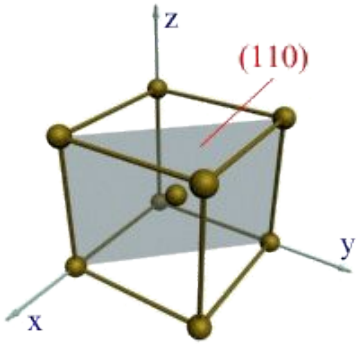
- Для построения плоскости с заданными индексами надо обозначить центр координат и от него по осям отложить величины обратные индексам плоскости.

Кристаллографические направления [*h k l*] − это прямые линии, выходящие из точки отсчета, вдоль которых в решетке располагаются атомы (рис. г).

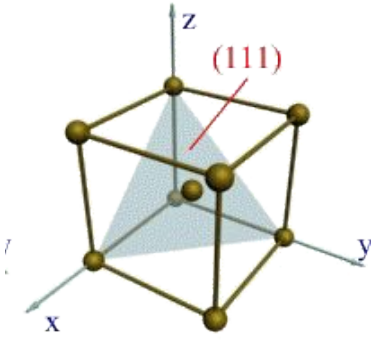
- Для построения направления с заданными индексами надо обозначить центр координат и от него последовательно откладывать индексы.



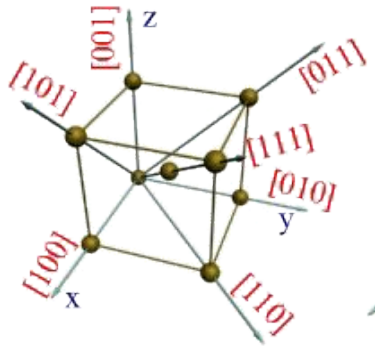
а) плоскости параллельные двум осям



б) вертикальная диагональная плоскость



в) наклонная плоскость

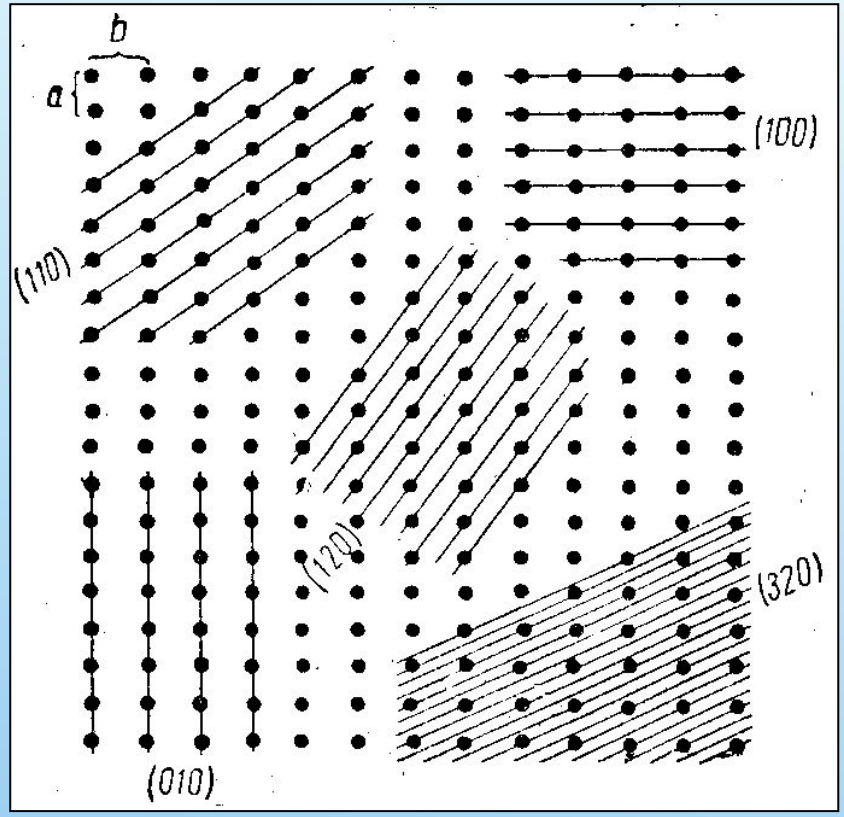


г) направления

АНИЗОТРОПИЯ СВОЙСТВ КРИСТАЛЛОВ

Анизотропия – это различие свойств кристаллов (механических, физических, химических) в разных направлениях из-за неодинаковой плотности расположения атомов в разных плоскостях кристаллической решетки.

- Все кристаллы анизотропны.
- Степень анизотропности свойств может быть значительной.

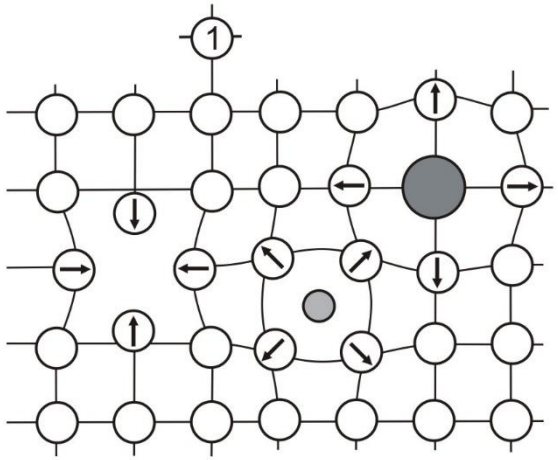


В реальных металлах, состоящих из большого числа по-разному ориентированных мелких анизотропных кристаллов (*поликристалл*), свойства во всех направлениях получаются одинаковыми (усредненными). Эта кажущаяся независимость свойств от направления называется **квазиизотропией** (ложной изотропией).

1.2. СТРУКТУРНЫЕ НЕСОВЕРШЕНСТВА КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

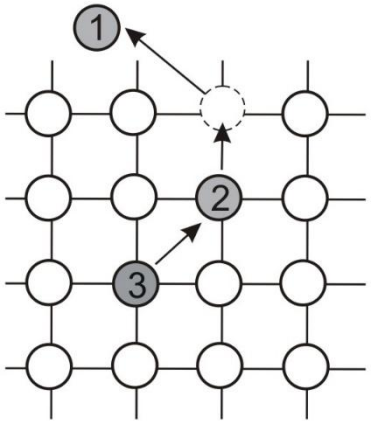
Точечные дефекты

Точечные дефекты размеры, которых малы во всех трех измерениях - вакансии, межузельные атомы, примеси замещения, примеси чужеродных атомов внедрения (рис. а)



а) Типы точечных дефектов
(стрелки − направления смещений атомов)

− Вакансия (пустота)
− Примесные атомы замещения (большой)
− Примесные атомы внедрения (малый)
− Дислоцированный атом (атом №1)



б) Этапы образования вакансии

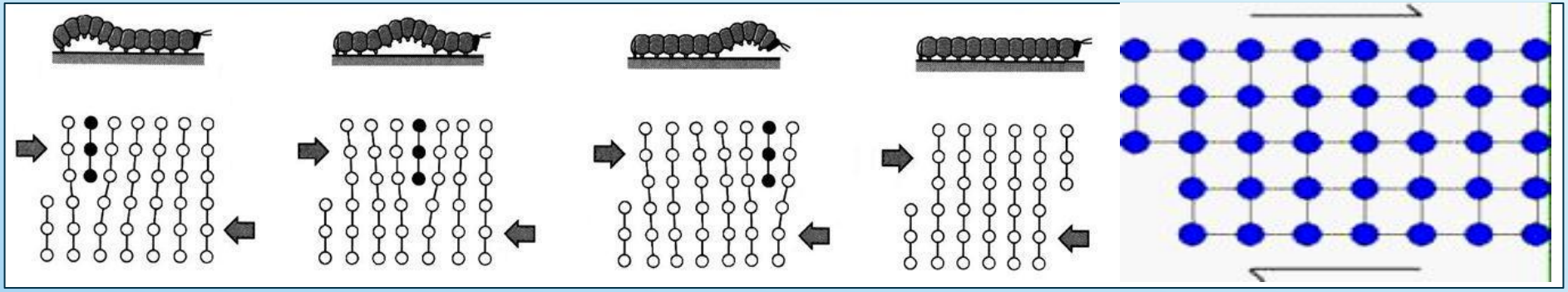
Атомы колеблются возле точек равновесия - **узлов решетки.** Чем выше температура, тем больше амплитуда колебаний. Большинство атомов в кристаллической решетке имеют одинаковую энергию и колеблются с одинаковой амплитудой. Отдельные атомы, обладающие большей энергией и поэтому могут передвигаться с одного места на другое *(перемещение атомов 1,2,3 на рис. б).*
Наиболее легко перемещаются атомы поверхностного слоя, выходя на поверхность *(атом 1 на рис. б).* Вышедший из узла решетки атом называется **дислоцированным**. Незаполненное место, где находился такой атом, называется **вакансией** *(пунктирный атом на рис б).*

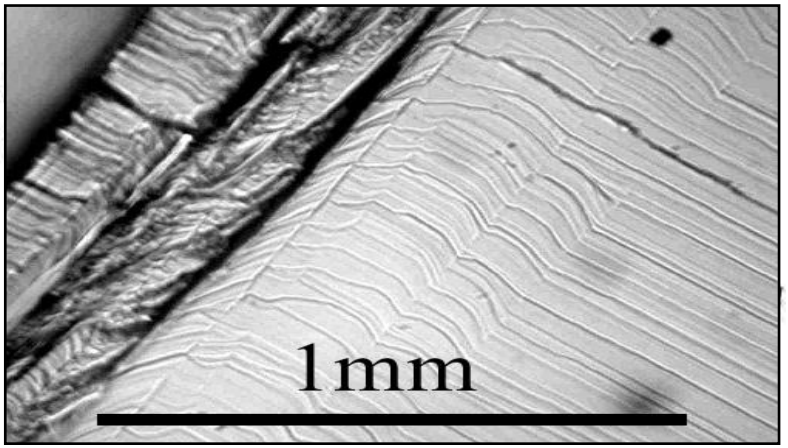
Линейные дефекты

Линейные дефекты размеры, которых малы только в двух измерениях – дислокации (рис. а)

Дислокация (dislocation − смещение, сдвиг) − это дефекты кристаллического строения, которые представляют собой линии, вдоль и вблизи которых нарушено характерное для кристалла правильное расположение атомных плоскостей. Их подразделяют на **краевые (линейные) и винтовые дислокации**.

Краевая дислокация − это локальное искажение кристаллической решетки, вызванное наличием в ней «лишней» полуплоскости - **экстраплоскости**, которая расположена перпендикулярно плоскости чертежа (рис. б).





Проведем в идеальном кристалле сдвиг на одно межатомное расстояние одной части кристалла относительно другой вдоль любой плоскости на участке ADEF (рис. б). Влево сдвинулась только часть кристалла, находящаяся правее **плоскости ABCD**.

Плоскость ABCD – это лишняя атомная плоскость (экстраплоскость − AB), которая вставлена в верхнюю часть кристалла. **Линия AD** перпендикулярная направлению сдвига – это край экстраплоскости или **краевая (линейная) дислокацией**. Её длина может достигать многих тысяч межатомных расстояний.

Поверхностные дефекты

Поверхностные дефекты размеры, которых малы только в одном измерении - дефекты упаковки, двойниковые границы, границы зерен (рис. б).

Такие дефекты появляются т.к. реальное металл имеет поликристаллическое строение. Они возникают на границах зерен, так как в пограничном слое атомы имеют менее правильное расположение, чем в объеме зерна (рис. а). По границам зерен скапливаются - дислокации, примеси и включения (рис. б).

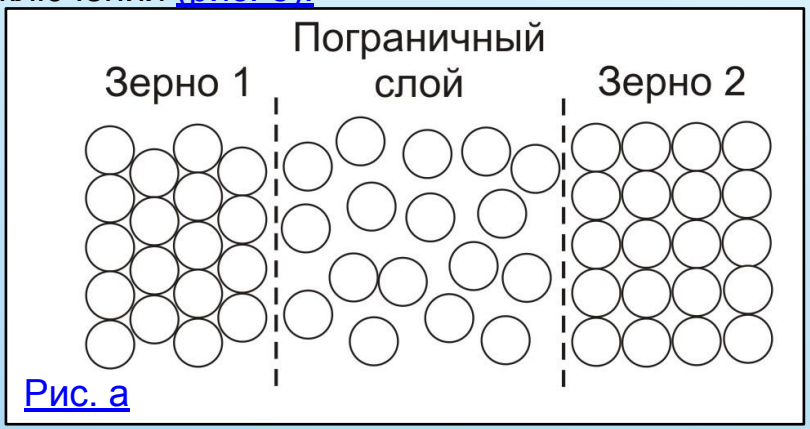


Рис. а

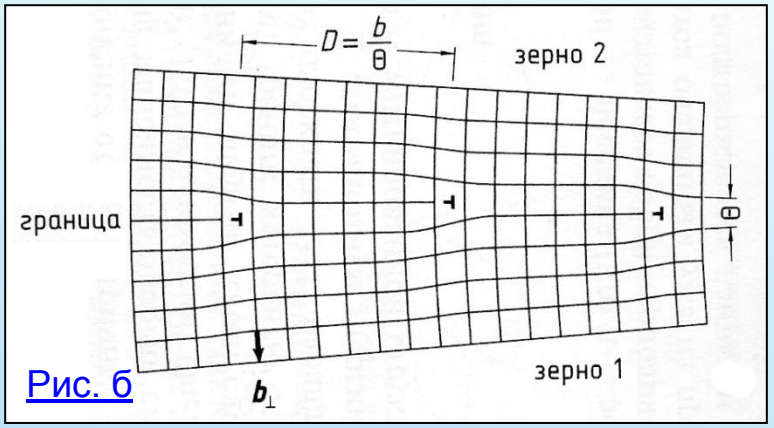
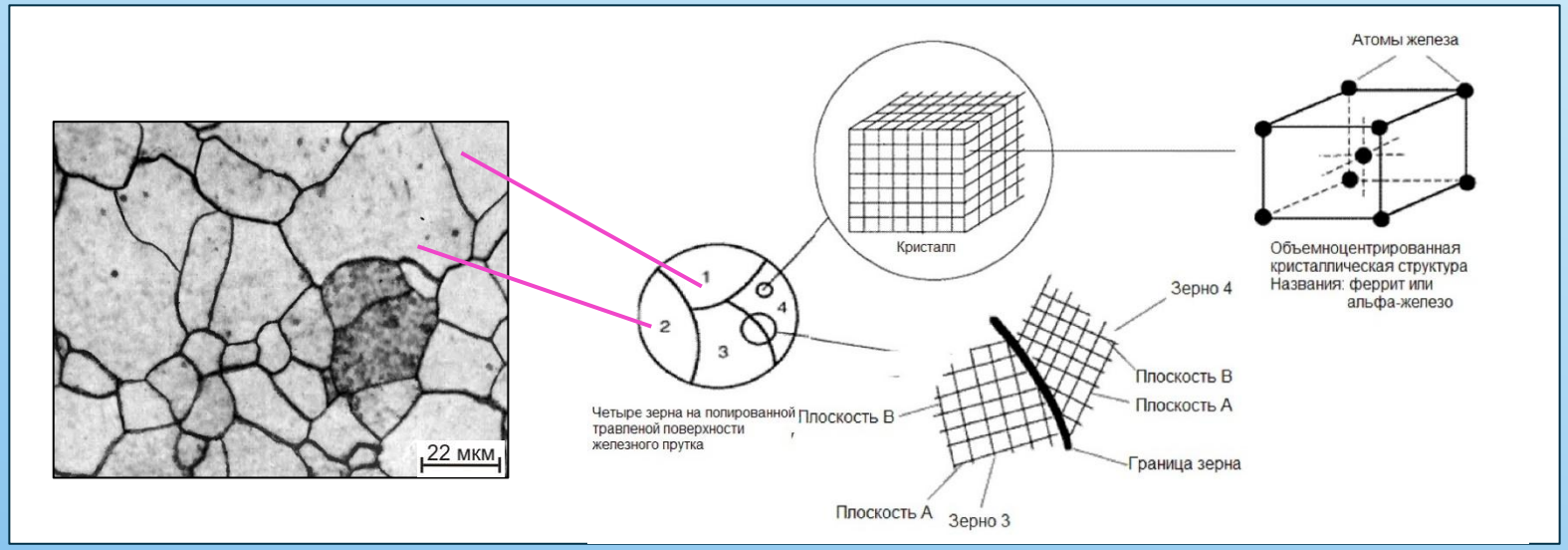


Рис. б

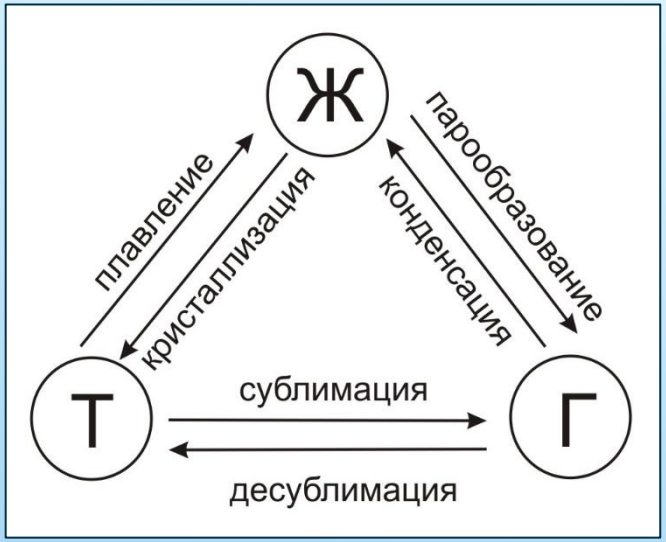


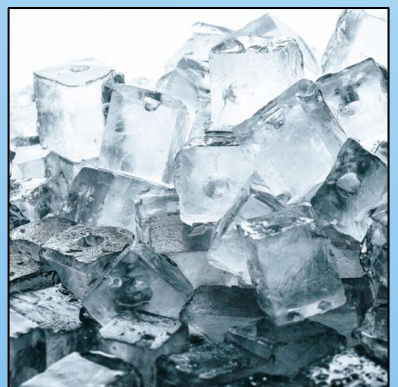
1.3. КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ

Любое вещество может находиться в 3 агрегатных состояниях:

- твердом
- жидком
- газообразном

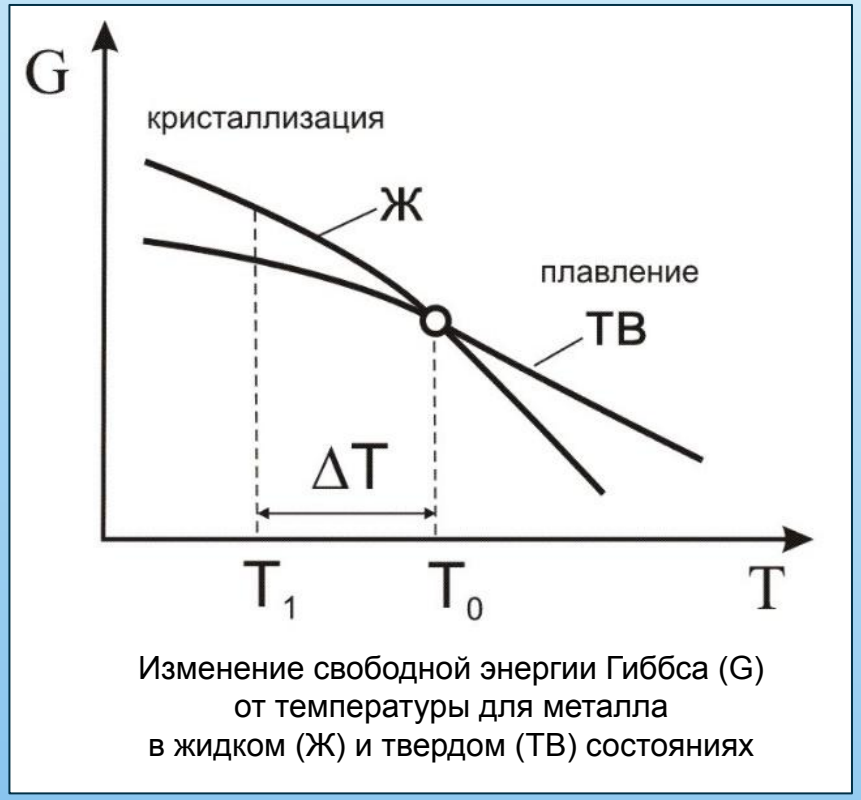
Переход вещества из одного агрегатного состояния в другое называется **фазовым превращением.**





Кристаллизацией называется процесс образования кристаллов из газообразного или жидкого состояния. Форма, величина, направление роста кристаллов определяют многие свойства металлов.

t °C



Изменение свободной энергии Гиббса (G) от температуры для металла в жидком (Ж) и твердом (ТВ) состояниях

Из термодинамики известно, что фазовое превращение сопровождается понижением свободной энергии системы.

T_0 − равновесная температура кристаллизации

При T_0: $G_{тв}=G_ж$

Кристаллизация может идти лишь при переохлаждении металла ниже T_o

T_1 − некоторая температура

При T_1: $G_{тв}<G_ж \Rightarrow L \rightarrow Тв$

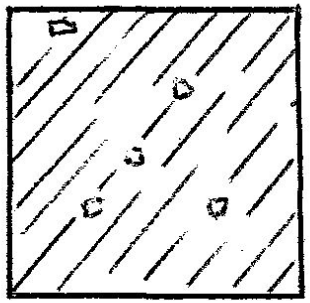
Степень термического переохлаждения (ΔT) − разность между равновесной и фактической температурами кристаллизации.

$$\Delta T = T_0 - T_1$$

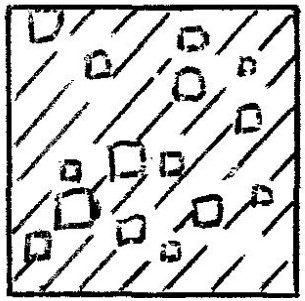
1.4. ОБРАЗОВАНИЕ ЦЕНТОВ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ И РОСТ ЗЕРЕН

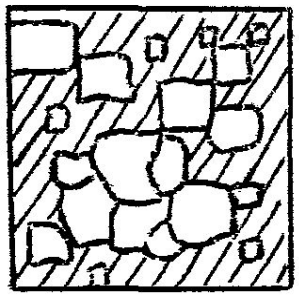
Процесс кристаллизации состоит из двух стадий:

- зарождения мельчайших частиц кристаллов (зародышей или центров кристаллизации)
- роста кристаллов из этих центров

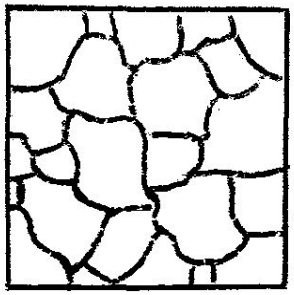


а) начало кристаллизации





б) развитие кристаллизации



в) завершение кристаллизации

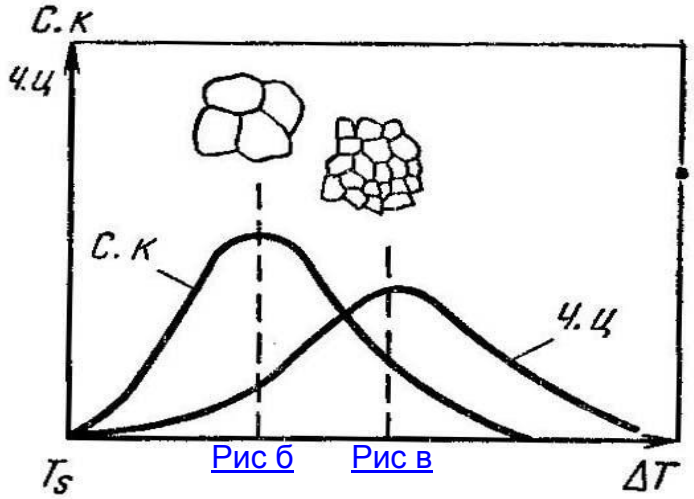
Зародыши или центры кристаллизации (ЦК) это микрообъемы металла внутри жидкости с правильным расположением атомов в соответствии с кристаллической решеткой данного металла. Они самопроизвольно возникают при переохлаждении металла. Не все зародыши могут стать центрами кристаллизации. Очень маленькие зародыши, после возникновения растворяются, т.е. являются неустойчивыми.

Чем ниже температура кристаллизации, т.е. чем больше степень переохлаждения, тем устойчивее будут мелкие зародыши, которые могут стать центрами кристаллизации.

Критический размер зародыша − это минимальный размер зародыша, который способен при данной температуре стать устойчивым центром кристаллизации (рис. а).

Чем больше степень переохлаждения, тем больше скорость охлаждения, тем меньше критический размер зародыша

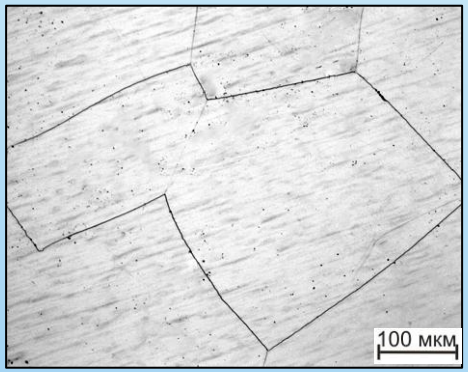
- Маленькая степень переохлаждения: число центров кристаллизации в жидкости мало, а скорость роста кристаллов большая. Затвердевание идёт интенсивно, но зёрна вырастают крупные (рис. б).
- Большая степень переохлаждения: в жидкости возникает много зародышей, которые быстро растут. Затвердевание происходит интенсивно и образуются мелкие зерна (рис. в).



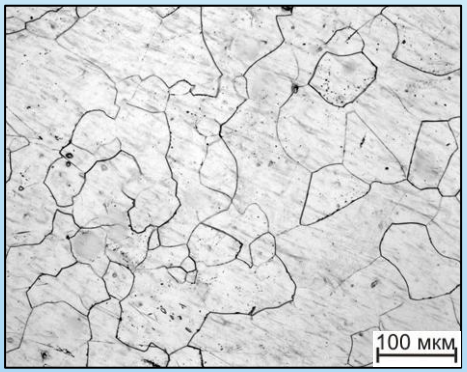
а) Зависимость скорости роста кристаллов (СК) и Скорости зарождения центров кристаллизации (ЧЦ) от степени переохлаждения

С.К. − Скорость роста кристаллитов
Ч.Ц. − Число центров кристаллизации

Чем больше будет центров кристаллизации, тем больше кристаллов образуется в данном объеме и тем меньше будет размер каждого зерна



б) маленькая степень переохлаждения



в) Большая степень переохлаждения

ВИДЕОСЮЖЕТЫ К САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ ПРОСМОТРУ

по лекции – 1 «Строение реальных металлов»

https://www.youtube.com/watch?v=_kYTcnnOGP8
Полет внутрь алюминия

https://www.youtube.com/watch?v=ZqtIQ5QVoco
https://www.youtube.com/watch?v=TXNRNgOaarU
Дефекты кристаллического происхождения

https://www.youtube.com/watch?v=Z59IVM8w55k
https://www.youtube.com/watch?v=BGqIQxPsIWw
Кристаллизация металлов

https://www.youtube.com/watch?v=4mdZoy-ZDtk
https://www.youtube.com/watch?v=3RL_gaZ__Ew
Диффузия