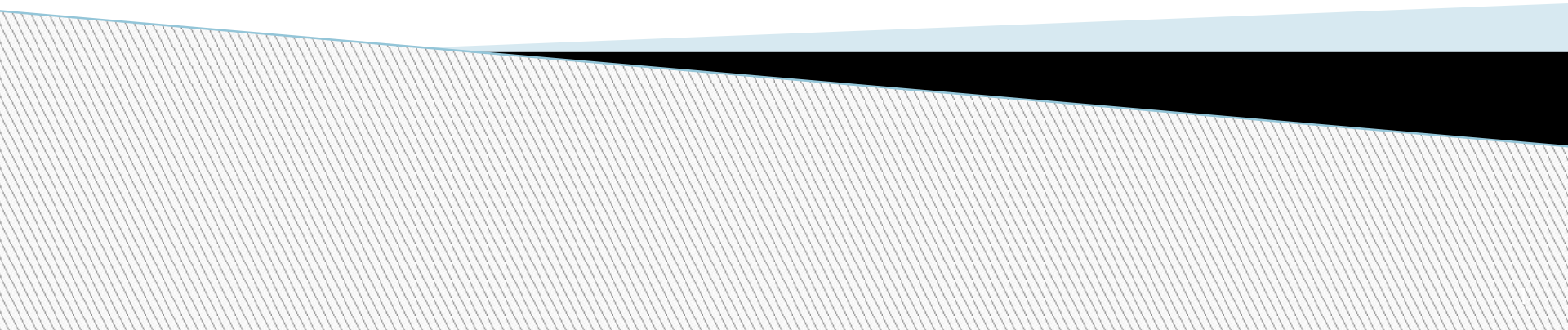


Материаловедение

Строение материалов.
Дефекты кристаллической структуры.



Введение.

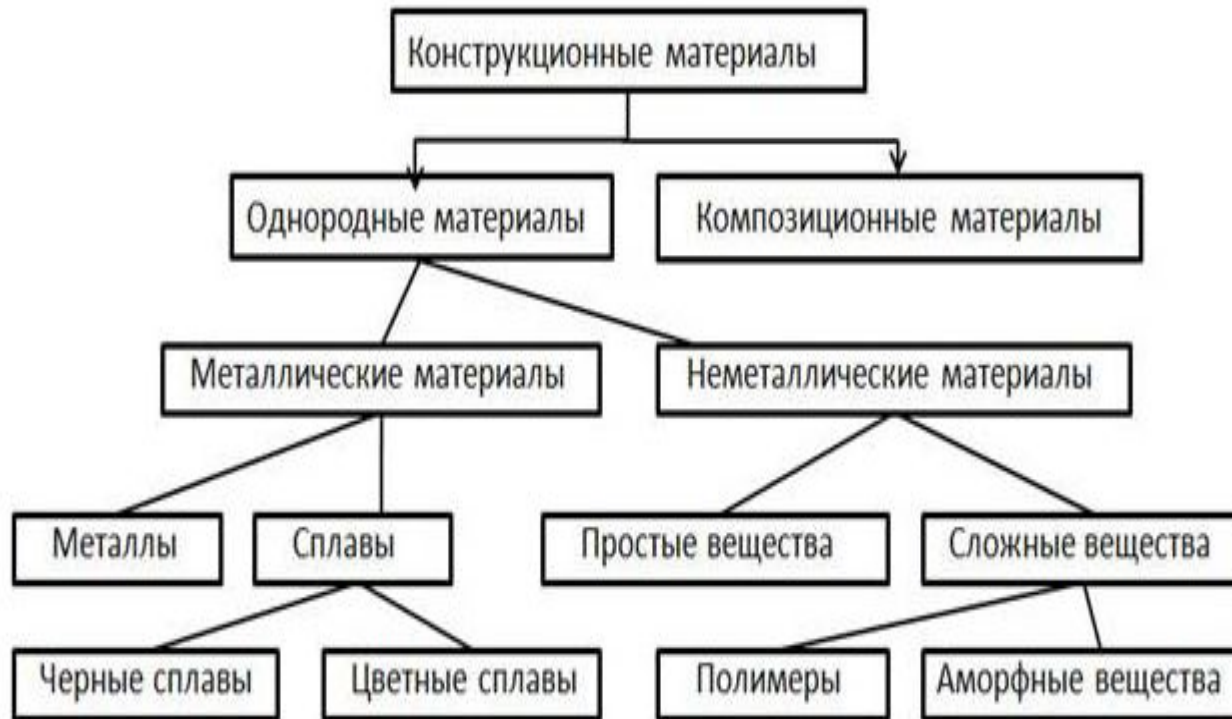
Материаловедением называется комплексная наука, изучающая внутреннее строение и свойства материалов и закономерности их изменения под воздействием внешних факторов: тепловых, механических, химических, электромагнитных радиоактивных.

Цель: возможность целенаправленно выбирать материалы при проектировании технологических процессов и разработки конструкций.

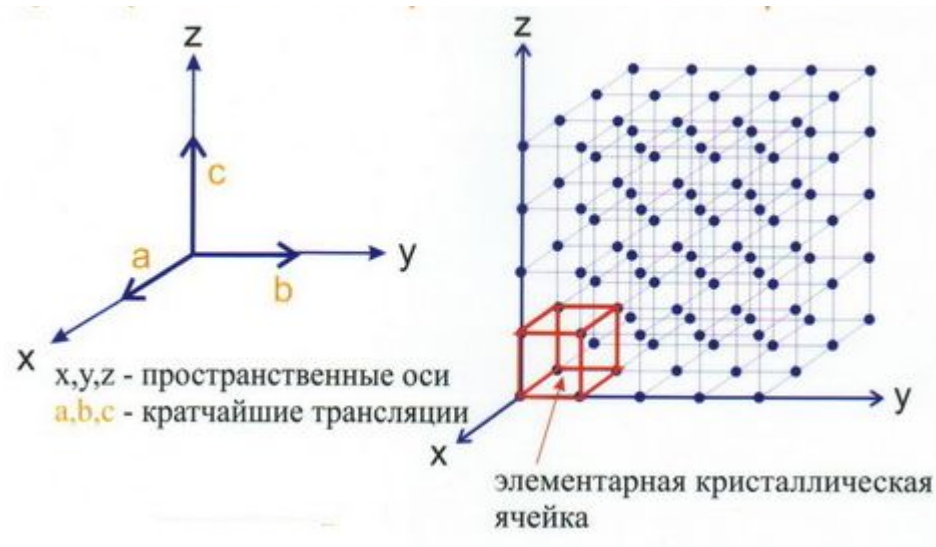
Дисциплина знакомит:

- с основными закономерностями образования и изменения структуры металлических и неметаллических материалов;
- с методами контроля свойств и структуры материалов;
- с правилами рационального выбора материалов.

Классификация материалов



Кристаллическое строение металлов.

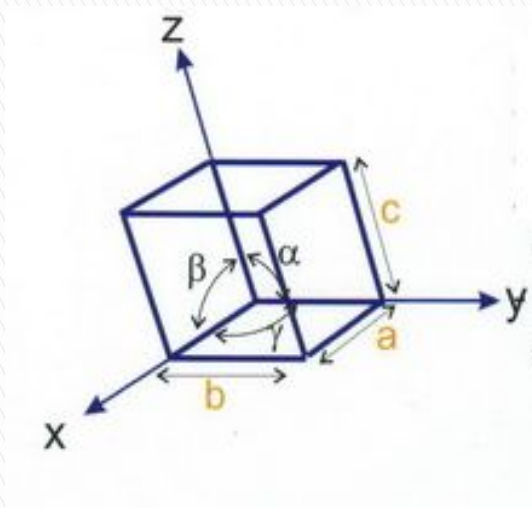


Атомы, правильно расположенные в одной плоскости и соединенные воображаемыми линиями, символизирующие силы связи, образуют *кристаллические плоскости*.

Многokратное повторение кристаллографических плоскостей в пространстве позволяет получить пространственную кристаллическую решетку, минимальный объем которой называется *элементарной кристаллической ячейкой*.

Простейшим типом кристаллического строения является *кубическая решетка*, в которой атомы расположены в вершинах куба

Основные характеристики кристаллической решетки.



- углы между осями α , β , γ ;
- периоды решетки a , b , c ;
- базис решетки n ;
- координационное число Z ;

Период решетки - наименьшее расстояние м/д центрами двух соединенных частиц (атомов, ионов) решетки в элементарной ячейке и для металлов составляет 0,1...0,7нм.

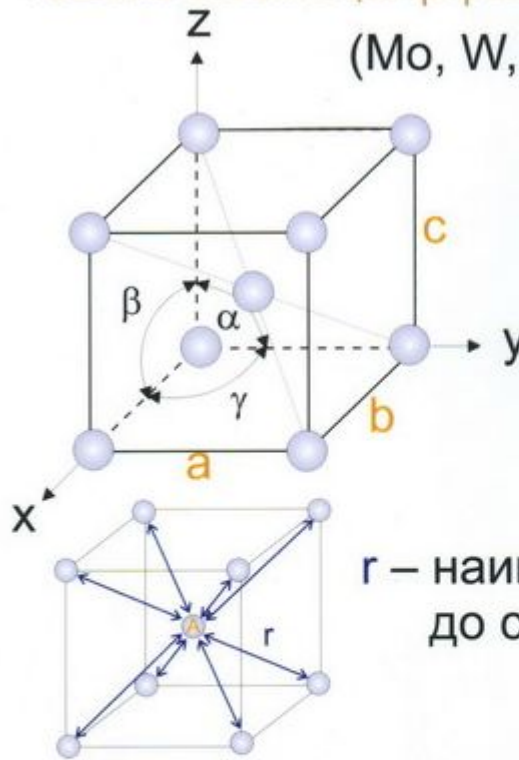
Базис решетки - количество атомов, приходящееся на одну элементарную ячейку решетки.

Координационное число - это число ближайших равноудаленных от атома (иона) соседних атомов(ионов).

Типы кристаллических решеток.

Решетка объемноцентрированная кубическая (ОЦК)

(Mo, W, V, Fe_α)



r – наименьшее расстояние до соседних атомов.

Характеристики решетки:

Углы между осями

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

Период решетки

$$a = b = c$$

Число атомов на ячейку

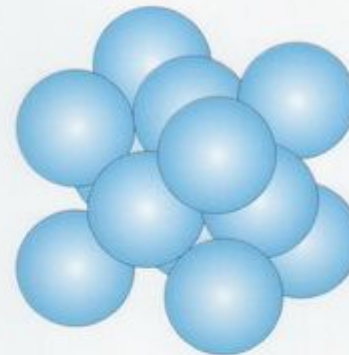
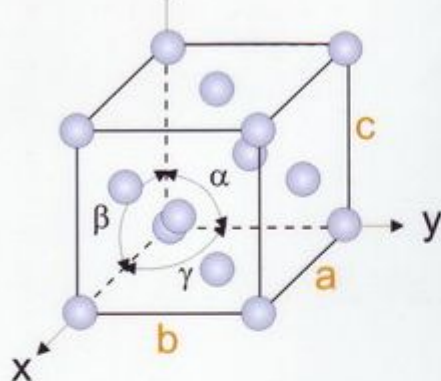
$$n = 2$$

Координационное число

$$Z = 8$$

Решетка гранецентрированная кубическая (ГЦК)

Z (Al, Cu, Au, Ag, Fe_γ)



r – наименьшее расстояние до соседних атомов.



Характеристики решетки:

Углы между осями

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

Период решетки

$$a = b = c$$

Число атомов на ячейку

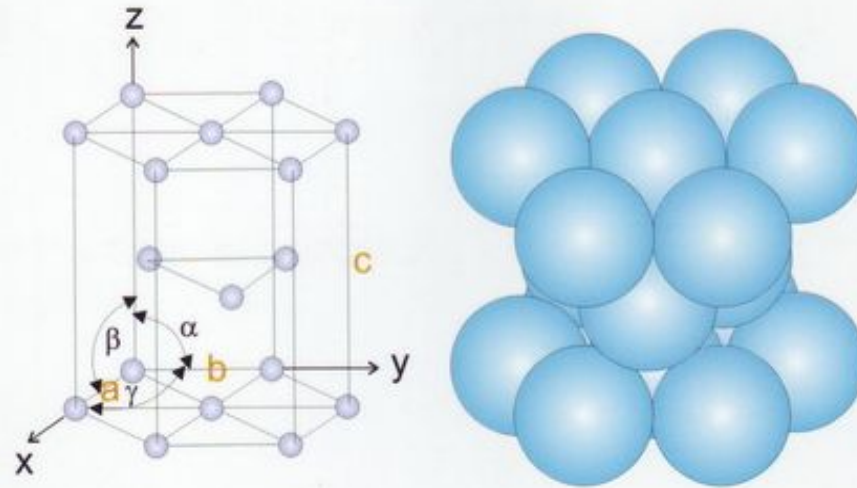
$$n = 4$$

Координационное число

$$Z = 12$$

Решетка гексагональная плотноупакованная (ГП)

(Mg, Co_α, Zn, Ti_α, Cd)



Характеристики решетки:

Углы между осями

$$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$$

Период решетки

$$a = b \quad c/a = 1,633$$

Число атомов на ячейку

$$n = 6$$

Координационное число

$$Z = 12$$

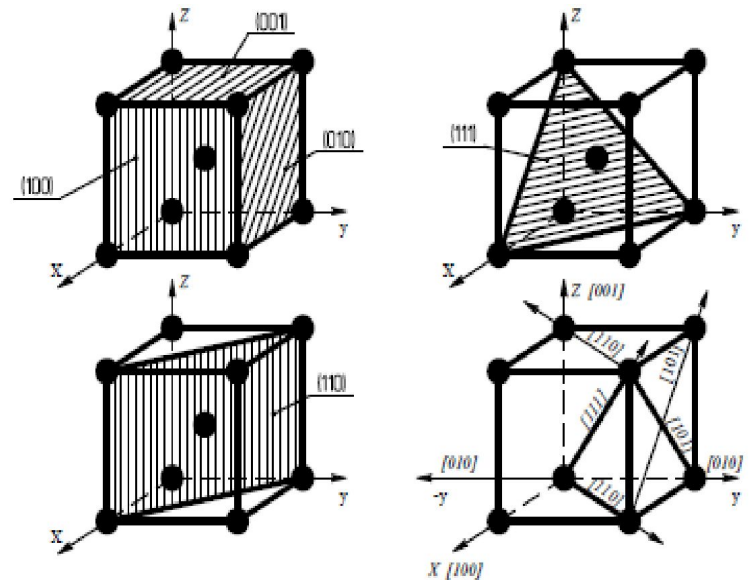
Понятие об изотропии и анизотропии.

Свойства тела зависят от природы атомов, из которых оно состоит, и от силы взаимодействия между этими атомами.

В аморфных телах с хаотическим расположением атомов в пространстве расстояния между атомами в различных направлениях равны, следовательно, свойства будут одинаковые, то есть аморфные тела **изотропны**.

Свойства отдельно взятого кристалла (монокристалла) по данному направлению отличаются от свойств в другом направлении и, зависят от того, сколько атомов встречается в этом направлении. Различие свойств в зависимости от направления испытания носит название **анизотропии**.

Все кристаллы анизотропны.



Идеальная и реальная структуры.

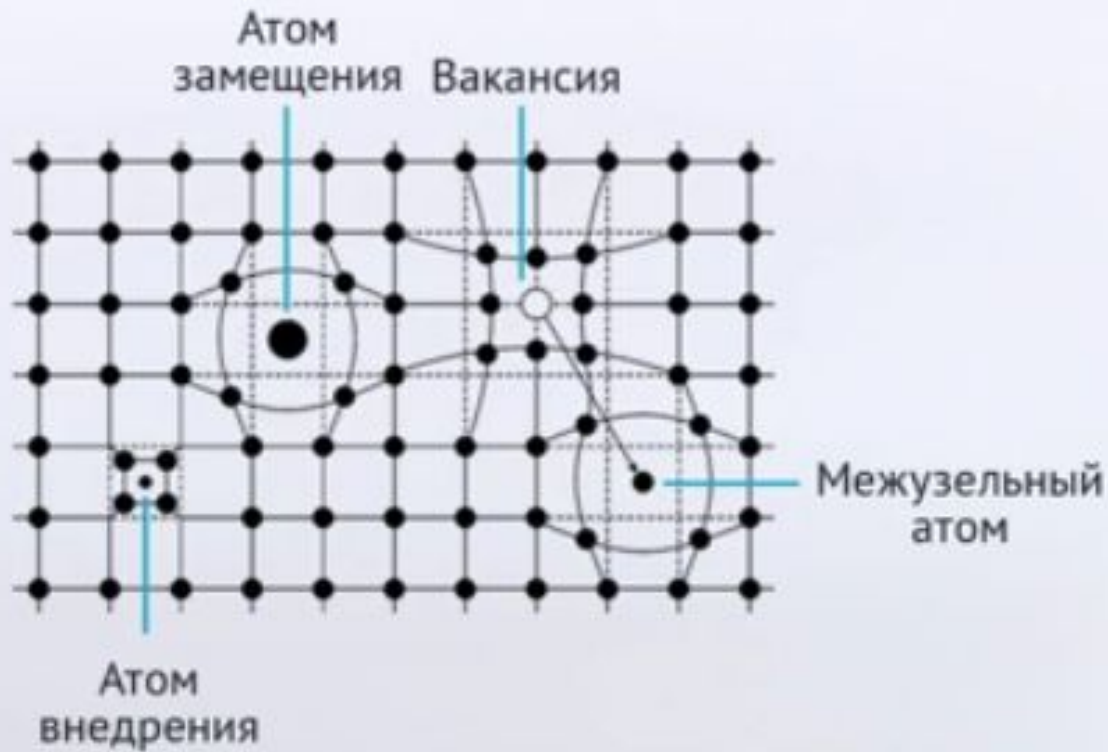
Идеальным является такое строение кристаллов, при котором все атомы находятся строго в узлах кристаллической решетки.

Реальный кристалл отличается от *идеального* наличием различных структурных несовершенств – дефектов. которые могут быть точечными, линейными, поверхностными и объемными

Дефекты кристаллической решетки

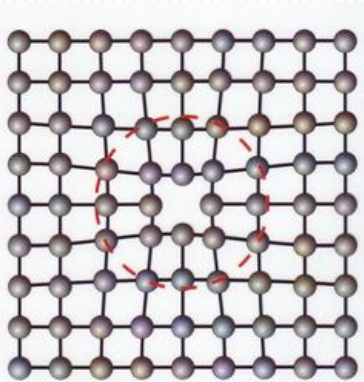


0-мерные дефекты

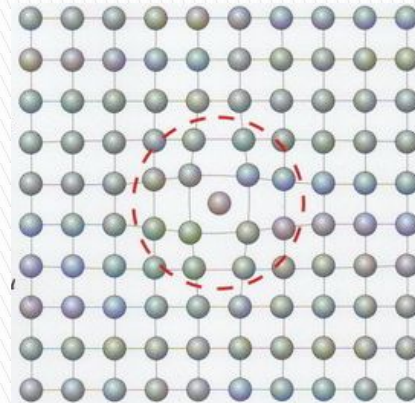


Образование вакансии или межузельного атома приводит к локальному искажению решетки кристалла.

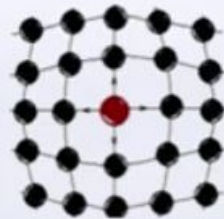
Точечные дефекты.



Вакансия-это узел кристаллической решетки незанятый атомом или ионами.

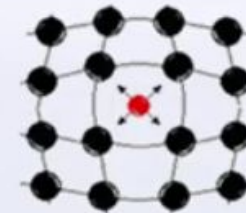


Межузельный атом – атом, расположенный в межатомном пространстве кристаллической решетки.



Атом замещения

- Увеличивает прочность и твердость
- Снижает пластичность

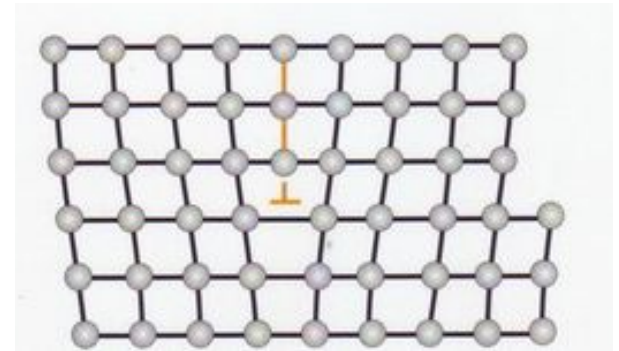
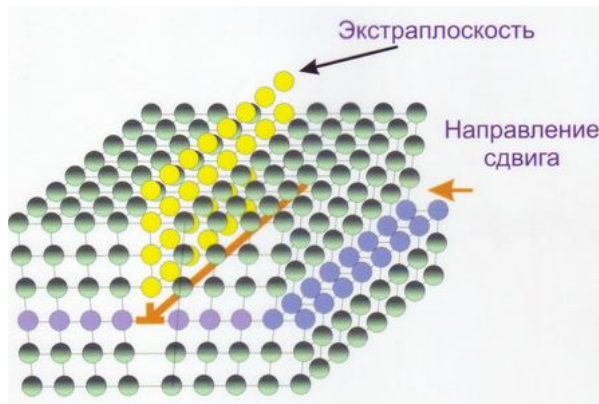


Атом внедрения

- Увеличивает твердость
- Сильно охрупчивает

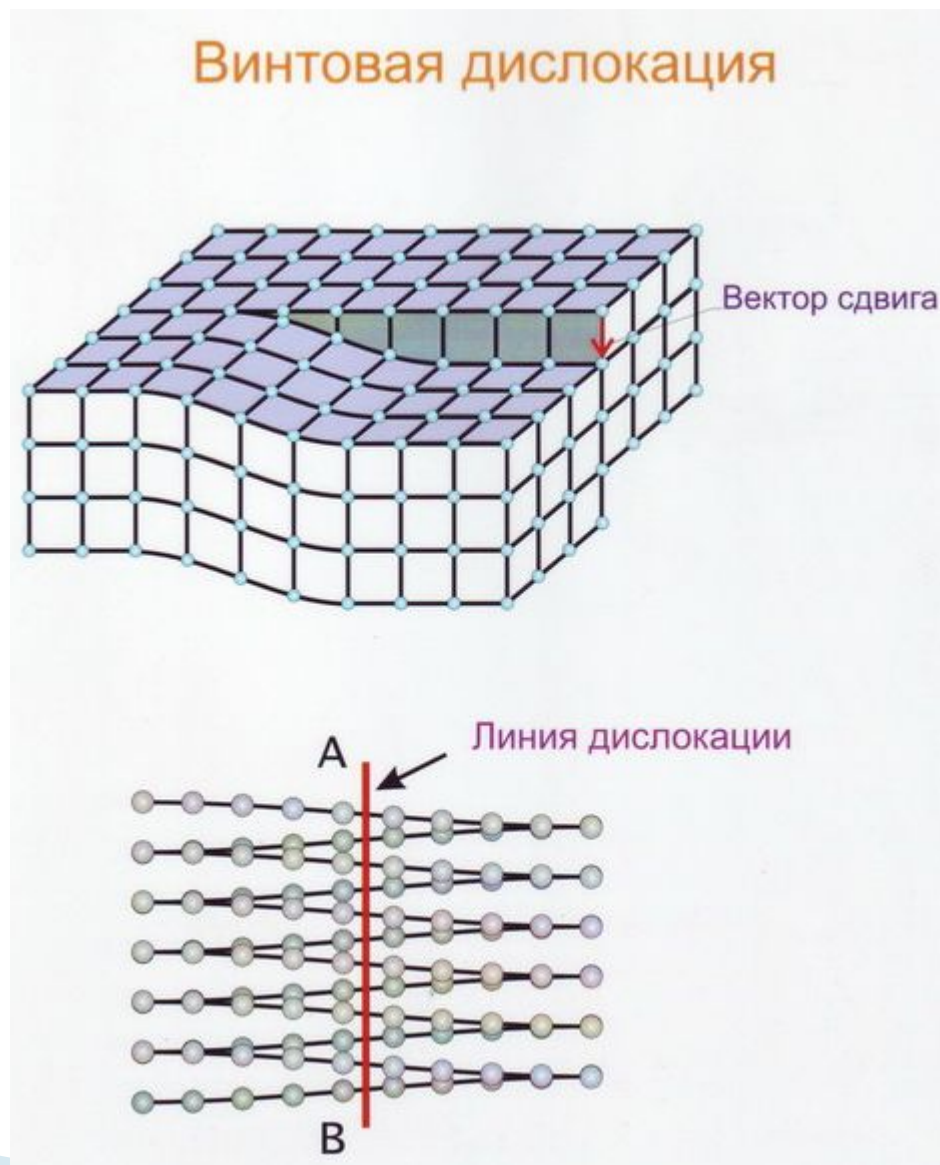
Линейные дефекты(Дислокация).

Дислокация – это дефекты кристаллического строения, представляющие собой линии, вдоль и вблизи которых нарушено характерное для кристалла правильное расположение атомных плоскостей.



- Ответственны за пластичность материала
- Размножаются при нагружении материала
- Все факторы, затрудняющие движение дислокаций, упрочняют материал

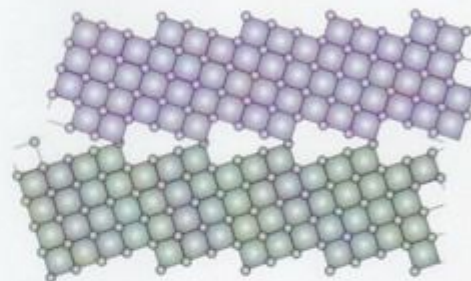
Линейные дефекты (Дислокация).



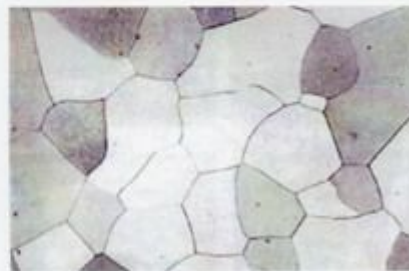


Поверхностные.

Границы зерен и субзерен



x 10000



x 250

Малоугловые и большеугловые границы в Fe_α

3x-мерные дефекты

Объемные дефекты

Поры

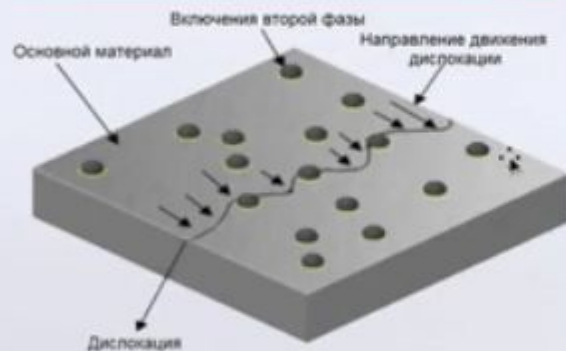
Закрытые

Сквозные

- Снижают прочность, электропроводность, теплопроводность, удельный вес материала
- Увеличивают площадь поверхности раздела фаз «твердое-газ»

Объемные дефекты

Включения примесных фаз



- Увеличивают твердость и прочность материала
- Снижают пластичность материала

Порождение и устранение дефектов кристаллических решеток

Нагрев

- ↑ Вакансии
- ↓ Дислокации
- ↓ Границы зерен
- ↓ Поры (незначительно)

Легирование

- ↑ Атомы внедрения
- ↑ Атомы замещения
- ↑ Примесные включения

Кристаллизация чистых металлов

Переход металла из жидкого или парообразного состояния в твердое с образованием кристаллической структуры называется ***первичной кристаллизацией***.

Образование новых кристаллов в твердом кристаллическом веществе называют ***вторичной кристаллизацией***.

Плавление – процесс обратный кристаллизации

Первичная кристаллизация.

□ Первичная самопроизвольная кристаллизация связана со стремлением вещества иметь более устойчивое состояние, характеризующееся уменьшением свободной энергии Гиббса G :

$$G = H - ST,$$

где H - энтальпия (энергии связи между ионами при 0 К);
 S - энтропия (сумма энергии колебания элементарных частиц в узлах решетки и энергии поступательного движения валентных электронов при тепловом возбуждении);
 T - температура, К.

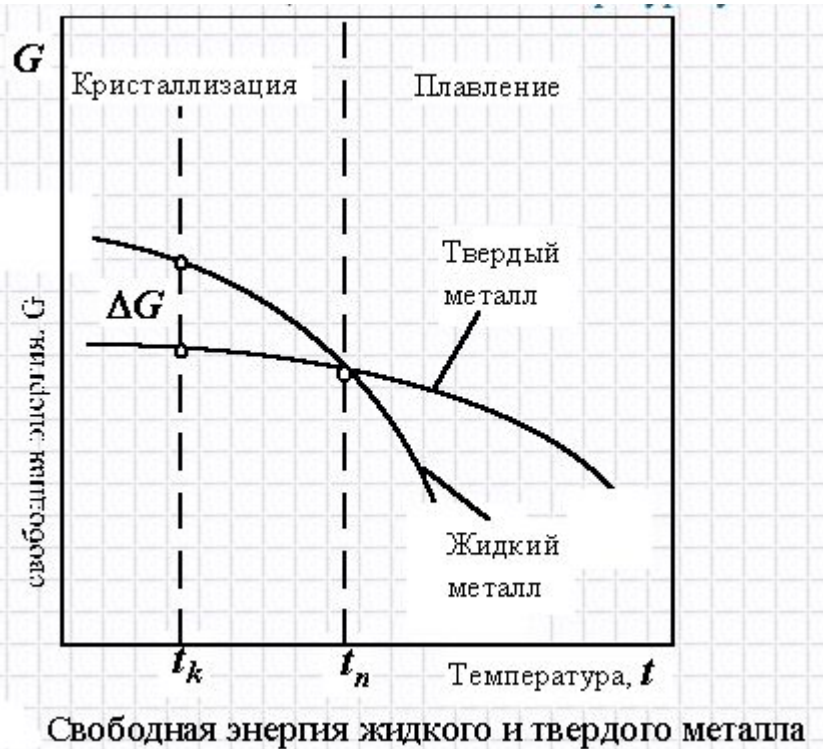
Кристаллизация начинается только тогда, когда свободная энергия кристалла становится меньше свободной энергии жидкой фазы.

t_n — равновесная температура кристаллизации.

Процесс первичной кристаллизации может протекать только при переохлаждении металла ниже равновесной температуры.

Разность между температурами, при которых может протекать процесс кристаллизации, носит название *степени переохлаждения*

$$\Delta t = t_n - t_k.$$



С изменением внешних условий, например температуры, свободная энергия системы изменяется по сложному закону, но различно для жидкого и твердого состояний.

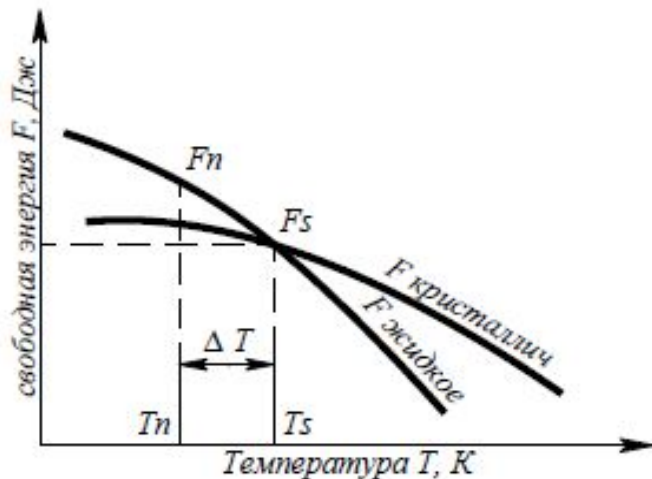


Рис. Изменение свободной энергии жидкого и кристаллического состояний в зависимости от температуры

T_s - **равновесная** или **теоретическая температура кристаллизации**, при которой $F_{\text{ж}} = F_{\text{тв}}$.

(при температуре, T_s свободные энергии жидкого и твердого состояний равны, металл в обоих состояниях находится в равновесии.)

Охлаждение жидкости ниже T_s называется **переохлаждением**.

Температура, при которой практически начинается кристаллизация, может быть названа **фактической температурой кристаллизации (T_n)**.

Разница между T_s и T_n называется **степенью переохлаждения ΔT** .

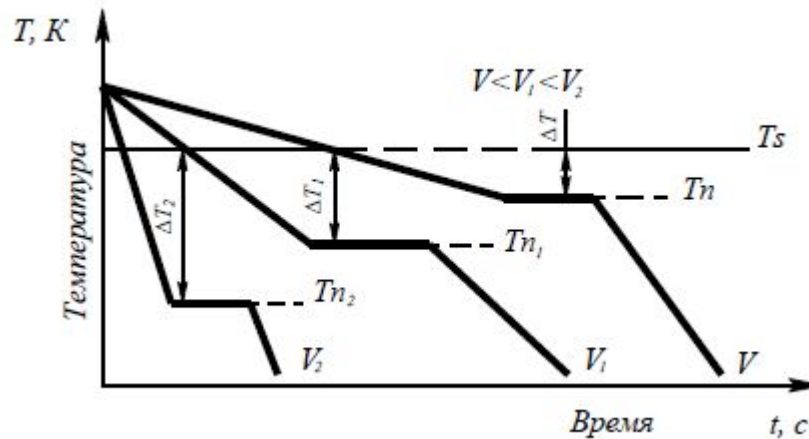


Рис. Кривые охлаждения, полученные при кристаллизации металла

- чем больше скорость охлаждения, тем большее переохлаждение может быть достигнуто.
- площадки на кривых охлаждения объясняются выделением тепла в процессе кристаллизации, вследствие чего температура в течение некоторого промежутка времени практически постоянна.
- повышение скорости охлаждения приводит к ускорению кристаллизации и к уменьшению протяженности этих площадок.

Механизм процесса кристаллизации.

Процесс кристаллизации состоит из двух элементарных процессов:

1. зарождение мельчайших частиц кристаллов, которые называются *зародышами* или *центрами кристаллизации*.
2. рост кристаллов из этих центров.

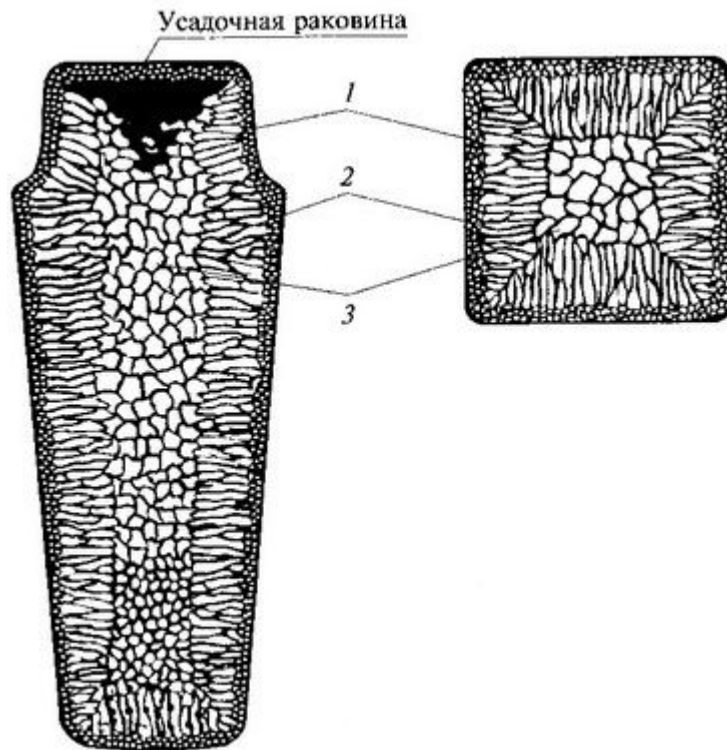
Модель кристаллизации металла в первые 7 секунд охлаждения :



Чем больше скорость образования зародыша и их роста, тем быстрее протекает процесс кристаллизации.

Чем мельче зерно, тем выше механические свойства металла особенно характеристики прочности и пластичности.

Строение металлического слитка.



- 1-зона мелких кристаллов;
- 2-зона столбчатых кристаллов;
- 3-зона крупных равноосных кристаллов;

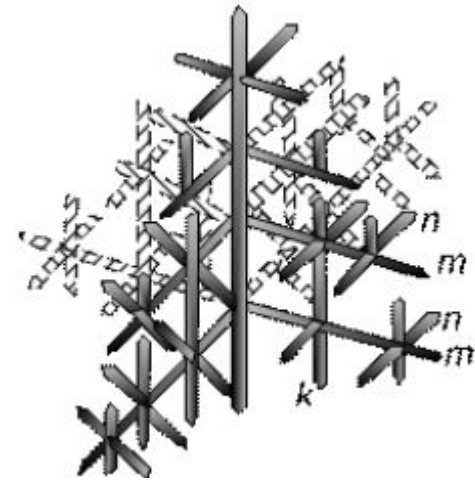
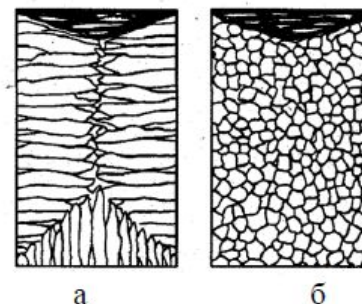


Рис. Схема строения дендрита:
1, 2 и 3 – оси соответственно
первого, второго и третьего
порядков

В зоне столбчатых кристаллов металл более плотный, он содержит меньше раковин и газовых пузырьков. В местах стыка столбчатых кристаллов прочность снижается.

Степень развития столбчатых кристаллов зависит от :

- химического состава металла;
- степени перегрева;
- размера слитка;
- скорости разливки;
- формы и толщины изложницы;
- температуры стенок изложницы.



Схемы макроструктур слитков: а – столбчатые кристаллы;
б – равноосные кристаллы

Повышение степени перегрева и увеличение скорости охлаждения слитка способствуют увеличению образования столбчатых кристаллов.

Применяя различные технологические приемы, можно изменить количественное соотношение зон или исключить из структуры слитка какую-либо зону вообще

Модифицирование - использование специально вводимых в жидкий металл примесей (модификаторов) для получения мелкого зерна.

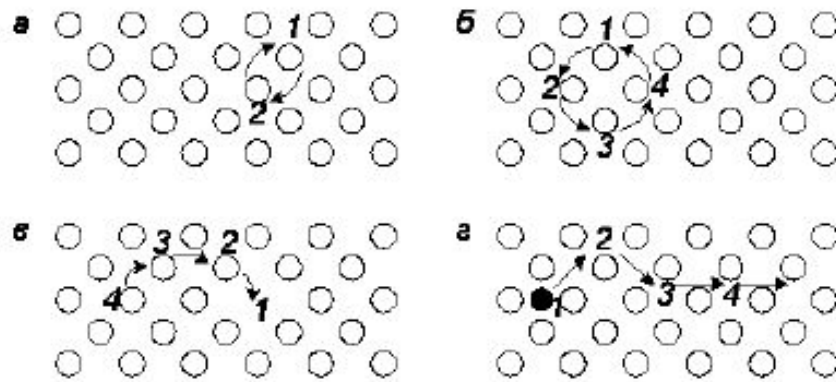
В качестве модификаторов используют поверхностно-активные вещества:

- бор в стали,
- натрий в алюминии и его сплавах;
элементы, образующие тугоплавкие тонко дисперсионные частицы:
- титан, цирконий в алюминии и его сплавах;
- алюминий, титан в стали.

Модификаторы добавляют в сплавы в количествах от тысячных до десятых долей процента.

Диффузия в металлах и сплавах

Атомы, находящиеся в узлах кристаллической решетки, непрерывно колеблются около положения равновесия. Некоторые из них приобретают столь большую энергию, что уходят со своего места в межузельное пространство, меняются местами со своими соседями, занимают находящиеся рядом вакансии и т. д. Такое перемещение атомов носит общее название – *диффузия*.



Механизмы диффузии атомов:

а – обменный; *б* – циклический; *в* – вакансионный;
г – межузельный

Вторичная кристаллизация.

Вторичной кристаллизацией называется процесс, в результате которого происходит полная замена одной кристаллической структуры на другую (аллотропическое превращение) или частичное изменение структуры (выделение новой фазы из твердого раствора при изменении его концентрации).

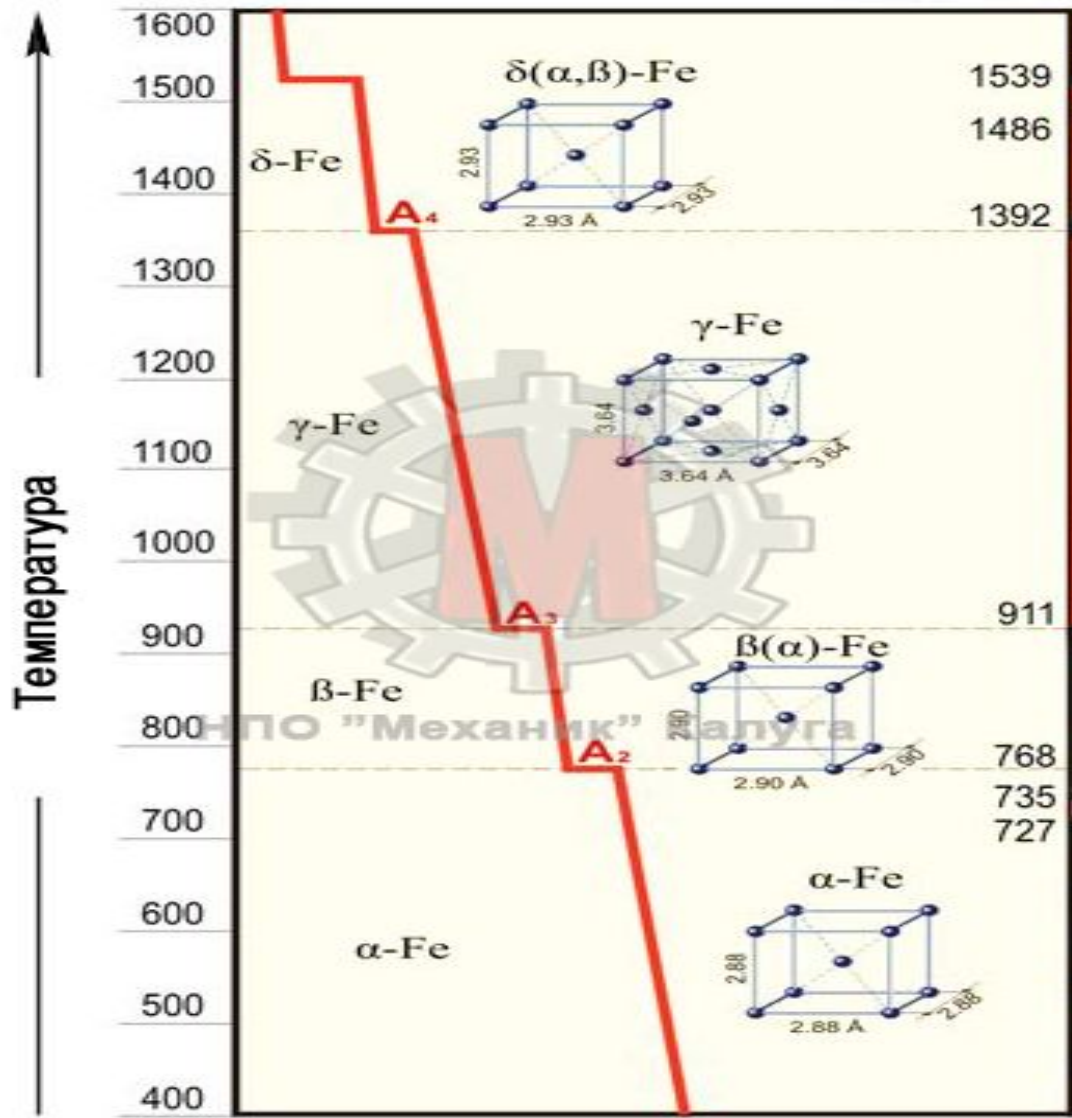
Превращение в твердом состоянии. Полиморфизм.

Существование одного металла (вещества) в нескольких кристаллических формах носит название ***полиморфизма***, или ***аллотропии***.

Различные кристаллические формы одного вещества называются ***полиморфными***, или ***аллотропическими модификациями***.

Аллотропические формы металлов.

Металл (элемент)	Аллотропическая форма	Интервал температур устойчивого состояния, °С	Кристаллическая решетка
Fe	α γ	< 911 1392—1539 911—1392	Кубическая объемноцентрированная (К8) Кубическая гранецентрированная (К12)
Co	α β	< 450 450—1480	Гексагональная (Г12) Кубическая гранецентрированная (К12)
Sn	α β	< 18 18—232	Решетка алмаза Тетрагональная объемноцентрированная
Mn	α β γ δ	< 700 700—1079 1079—1143 1143—1244	Кубическая сложная многоатомная То же Тетрагональная гранецентрированная Кубическая объемноцентрированная (К8)
Ti	α β	< 882 882—1660	Гексагональная (Г12) Кубическая объемноцентрированная (К8)
Zr	α β	< 867 867—1860	Гексагональная (Г12) Кубическая объемноцентрированная (К8)
U	α β γ	< 668 668—720 720—1132	Орторомбическая Тетрагональная Кубическая объемноцентрированная (К8)

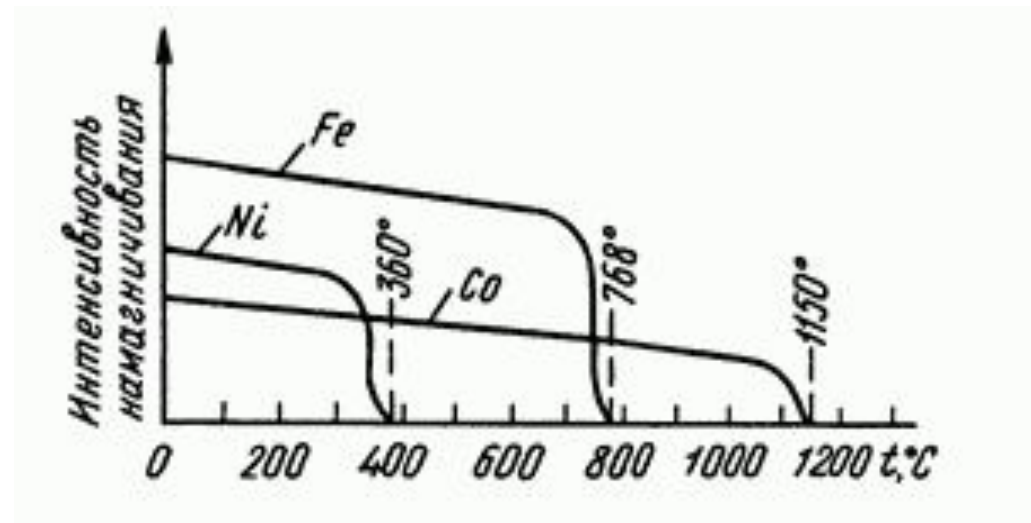


**Превращение в твердом состоянии.
Полиморфизм.**

Магнитные превращения.

Некоторые металлы имеют способность хорошо намагничиваться. Эти свойства называются *ферромагнитными*.

Интенсивность намагничивания с повышением температуры постепенно снижается, и точка Кюри соответствует окончательной потере ферромагнетизма.



Особенности магнитных превращений:

Спасибо за внимание!