



МВ и ТКМ



Тема : Превращения в твердом состоянии металлов

1. Процесс кристаллизации, атомнокристаллическое строение металлов.
2. Превращения в твердом состоянии.
3. несовершенства кристаллической решетки и деформации.
4. Рекристаллизация металлов.

1. Процесс кристаллизации, атомнокристаллическое

строение металлов.

Всякое вещество может находиться в 4-х агрегатных состояниях: твердом, жидком, газообразном и плазменном.

Плазма – ионизированный газ с равной концентрацией отрицательных и положительных зарядов. Высокотемпературная плазма ($T \approx 10^6 \text{ * } 10^8 \text{ K}$) исследуется с целью осуществления управляемого термоядерного синтеза.

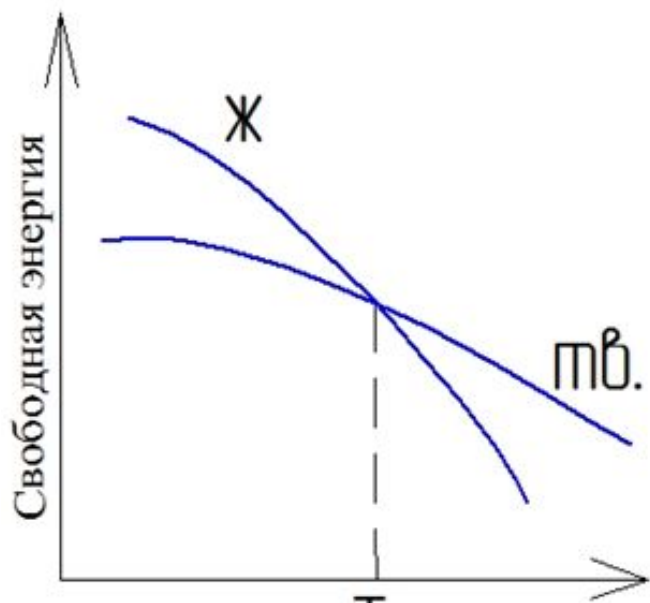
Низкотемпературная плазма ($T \approx 10^5 \text{ K}$) исследуется в различных газоразрядных приборах (лазерах, плазмотронах и др.), и в технике (плазменная металлургия, бурение, обработка).

Газ – нет закономерного расположения частиц (атомов, молекул) они хаотично двигаются, отталкиваются одна от другой и газ стремится занять возможно больший объем.

Жидкость - атомы сохраняют так называемый атомный порядок, т.е. в пространстве закономерно расположено небольшое кол-во атомов, а не атомов всего объема. Порядок неустойчив – он то возникает, то исчезает под действием тепловых колебаний. Жидкое состояние как бы промежуточное состояние между твердым и газообразным. При соответствующих условиях (давление) возможен переход из твердого состояния в газообразное состояние без – сублимации.

Твердое состояние – характеризуется правильным расположением атомов в пространстве. Закономерным гл. признаком твердого состояния является кристаллического строения.

1. Процесс кристаллизации, атомнокристаллическое строение металлов.



T_s устойчиво — жидкое состояние.

Кристаллизацией называется процесс образования кристаллов и жидкости (первичная кристаллизация) и из твердого (вторичная).

Энергетическое состояние системы имеющей огромное число охваченных тепловым движением частиц (атомов, молекул) хар-ся свободной энергией, чем больше свободная энергия, тем система менее устойчива и если имеется возможность, то система переходит в состояние, где свободная энергия меньше. С изменением t свободная энергия системы изменяется различно для жидкого и твердого состояния. При температуре ниже T_s устойчиво твердое состояние, т. К. оно обладает меньшим запасом свободной энергии, при температуре большей.

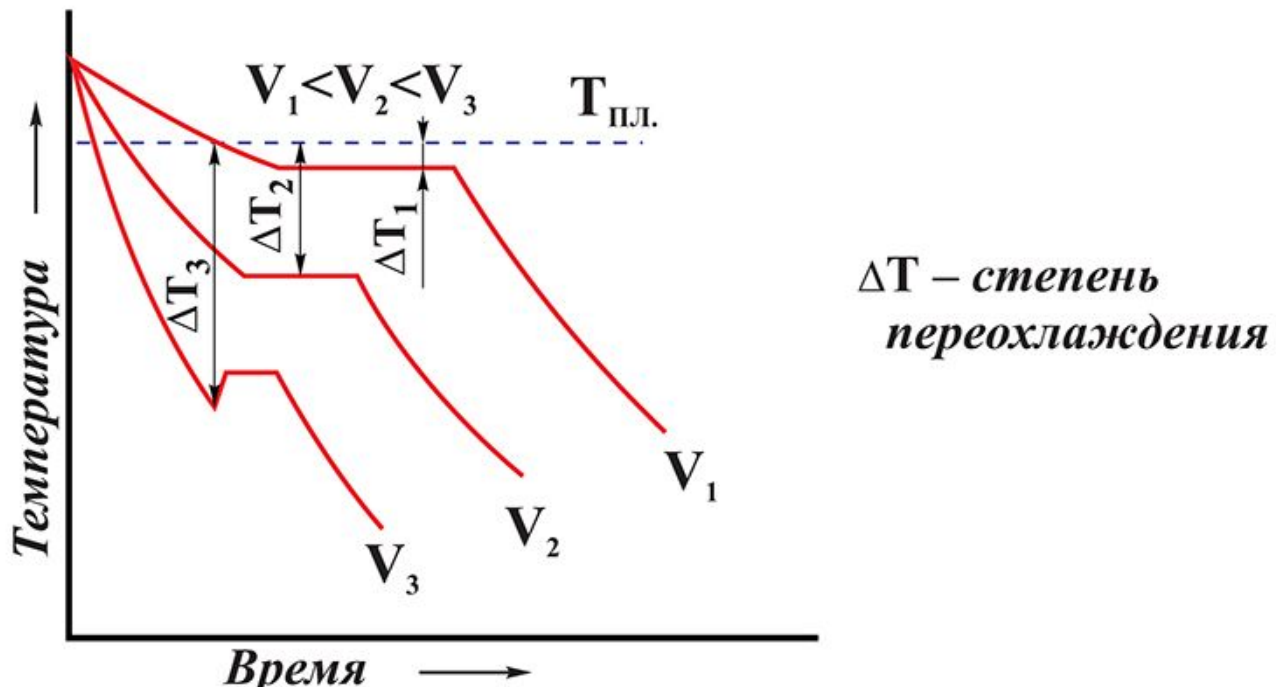
При температуре T_s - металл в обоих состояниях находится в равновесном состоянии.

T_s — теоретическая температура кристаллизации, однако процесс кристаллизации при этой температуре не происходит, т.к. свободные энергии равны. Для всех начала кристаллизации необходимо чтобы процесс был термодинамически выгоден системе и сопровождается уменьшением свободной энергии системы, поэтому процесс кристаллизации начинается при более низкой t_0 (T_n) называемой фактической t_0 кристаллизации. Разница между теоретической и фактической t_0 называется степенью переохлаждения. При нагревании/расплавлении происходит процесс перенагрева.

1. Процесс кристаллизации, атомнокристаллическое строение металлов.

О процессе кристаллизации судят по кривым охлаждения. При достижении температуры кристаллизации на кривой охлаждения появляются горизонтальная площадка за счет выделяющейся скрытой теплоты кристаллизации.

Кривые охлаждения при кристаллизации



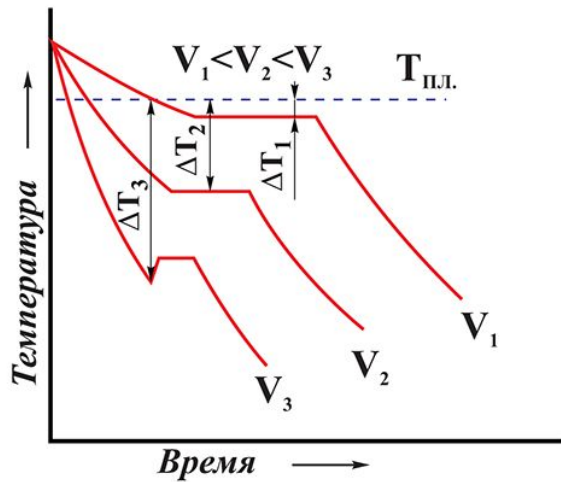
Процесс кристаллизации состоит:

- 1) Образование центров кристаллизации или зародышей (зачатков). Увеличение степени переохлаждения, понижающее размеры критического зародыша, уменьшат работу необходимую для его образования, поэтому скорость образования зародышей увеличивается.

1. Процесс кристаллизации, атомнокристаллическое

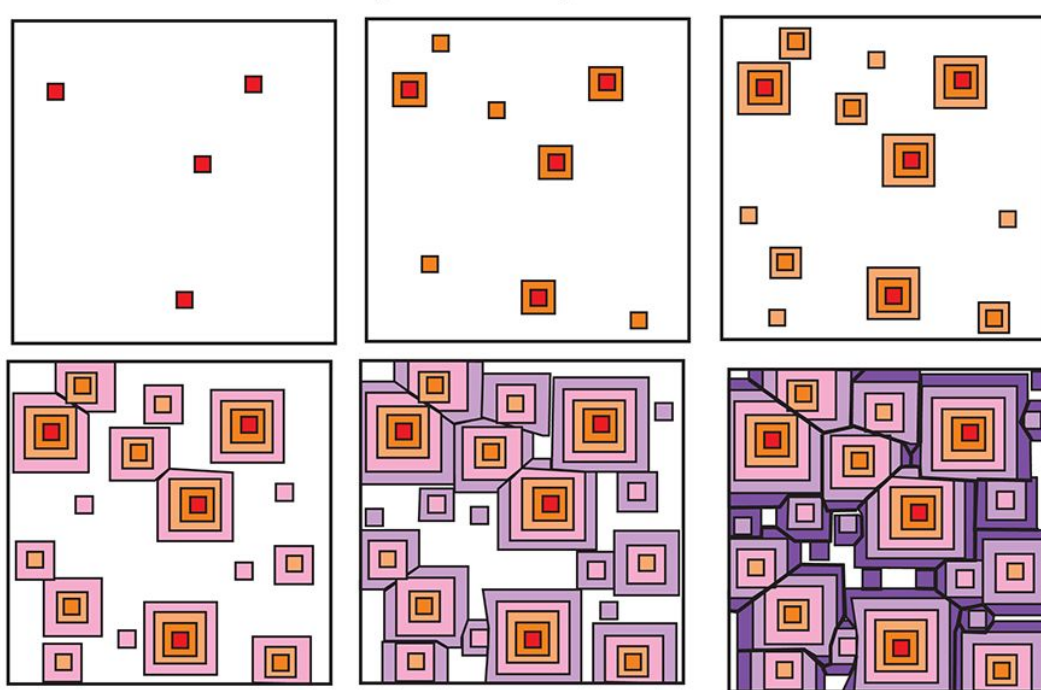
строение металлов.

Кривые охлаждения при кристаллизации



ΔT – степень
переохлаждения

Схема процесса кристаллизации



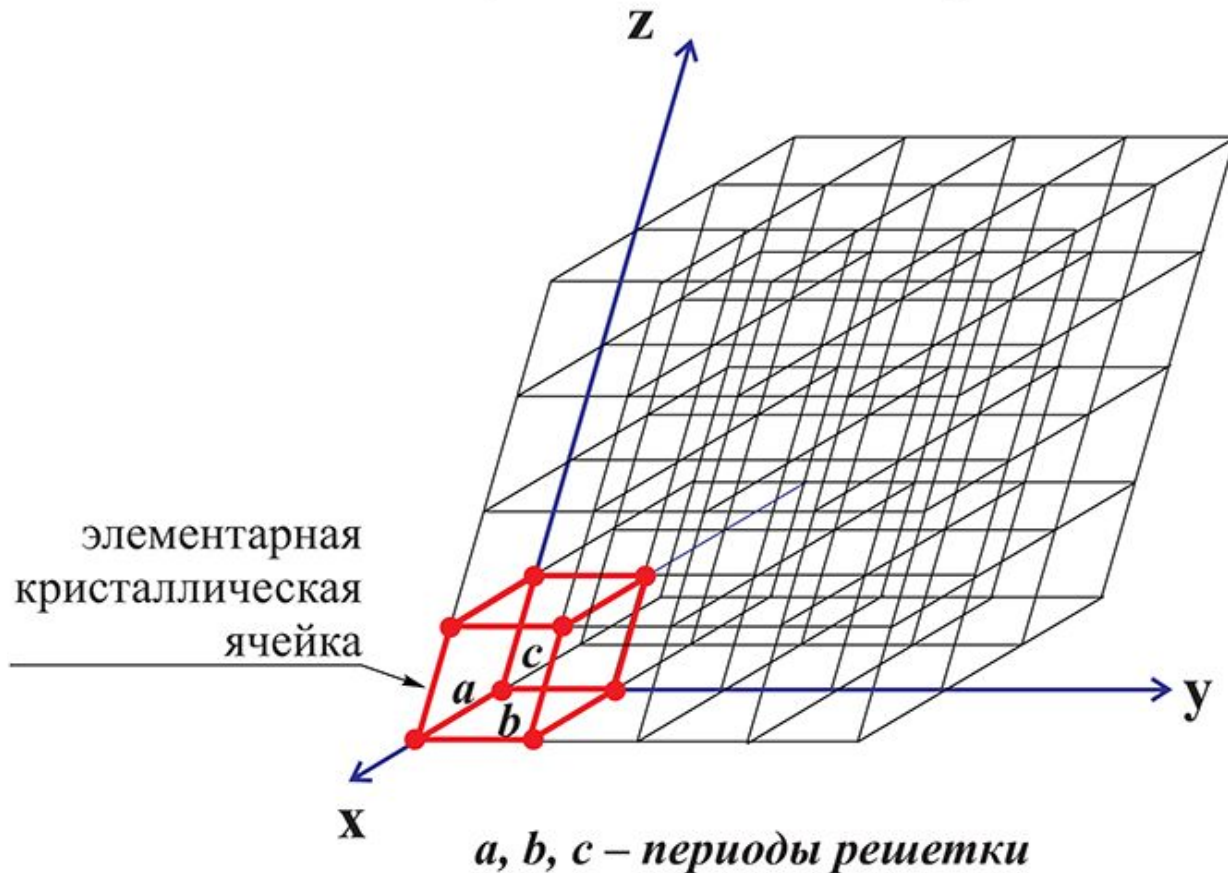
2) Рост кристаллов вокруг этих центров также возрастает с переохлаждением. У металлов и сплавов способность к переохлаждению и перенагреву невелика – $10...20^{\circ}\text{C}$ только у сурьмы 41°C .

Знание основных законов кристаллизации и искусственное регулирование числа центров кристаллизации позволяет получать мелкозернистую структуру сплавов с высокими механическими свойствами, т.е. производить их модифицирование.

1. Процесс кристаллизации, атомнокристаллическое строение металлов.

Расположение атомов в кристаллах условно обозначают (изображают) в виде элементарных кристаллических ячеек. Простейшим типом кристаллической ячейки является простая кубическая решетка (ПК).

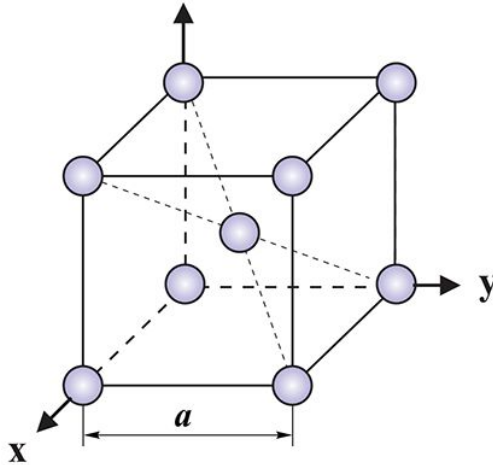
Схема кристаллической решетки



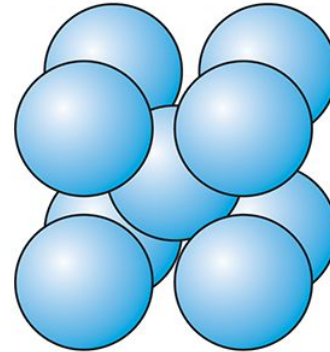
Важнейшей характеристикой кристаллической решетки является ее размер или **период**. Кубическую решетку определяет один параметр – длина ребра куба, a в ангстремах ($\text{Å} = 1 \times 10^{-8} \text{ см}$). У металлов он колеблется от 1 до 7Å .

1. Процесс кристаллизации, атомнокристаллическое строение металлов.

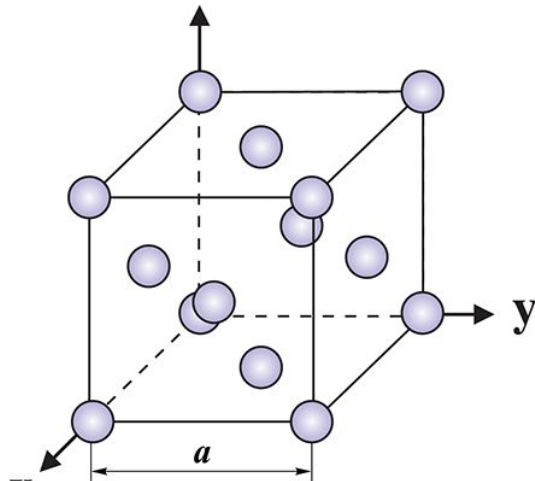
Кубическая объемноцентрированная решетка (ОЦК) – Fe α ; Cr α ; W α ; V; Mo; Ti и др.



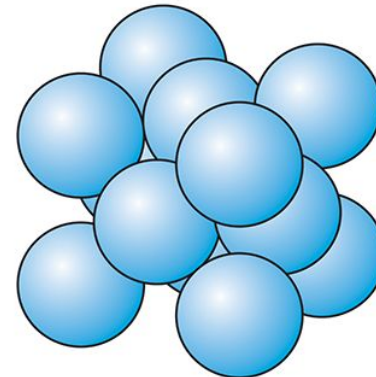
a – период решетки



Кубическая гранецентрированная решетка (ГЦК) – Fe β ; Ni β ; Al; Pb; Cu; Ag; Au; Pt и др

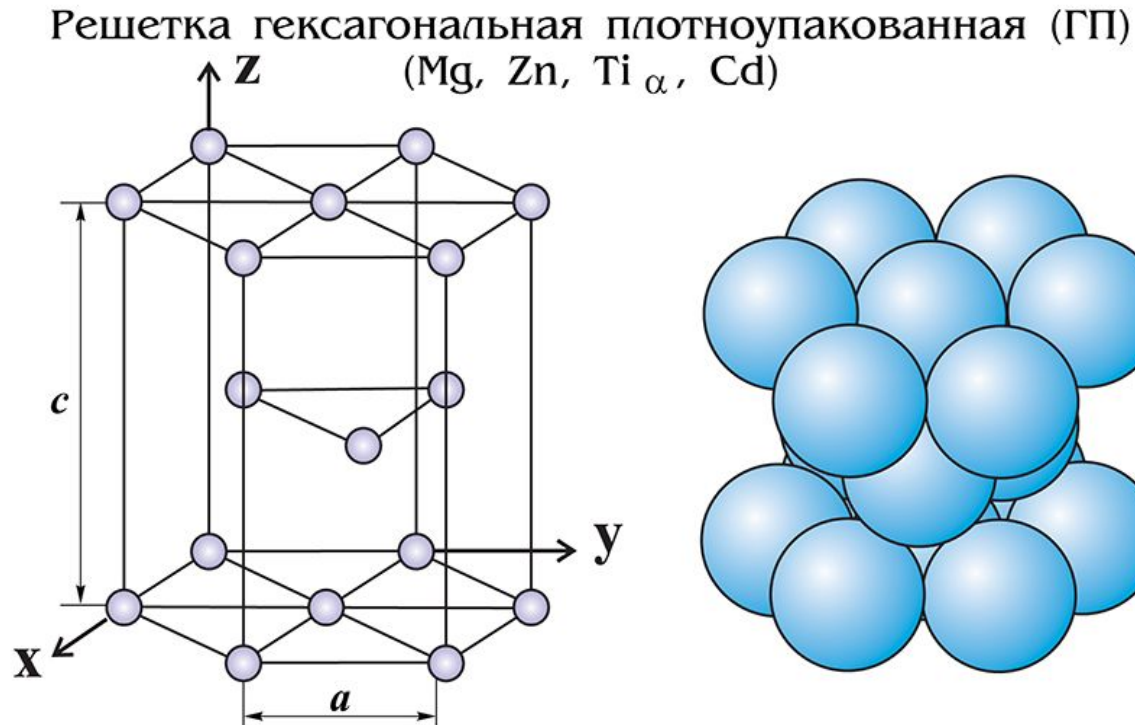


a – период решетки



1. Процесс кристаллизации, атомнокристаллическое строение металлов.

Тетрагональная решетка (ТГ) $c \neq a$. Отношение $c \neq a$ характеризует степень тетрагональности. Тетрагональная решетка может быть простой, объемно и гранецентрированной. V-ю имеет Sn (олово) С (алмаз), мартенит и др.



a, c – периоды решетки, $c/a = 1,633$

Гексагональная решетка (ГСГ) $c \neq a$

$\frac{c}{a} = 1,63$ – плотноупакованная Al, Ti $_{\alpha}$;

$\frac{c}{a} \neq 1,63$ – неплотноупакованная Zn, С (графит)

2. Превращения в твердом состоянии.

В кристаллической решетке любого типа атомы хотя и расположены в определенном порядке, но их число приходящейся на то или иное сечение неодинаково. Поэтому механические свойства кристаллов в разных направлениях также неодинаково.

Схема поликристаллического тела

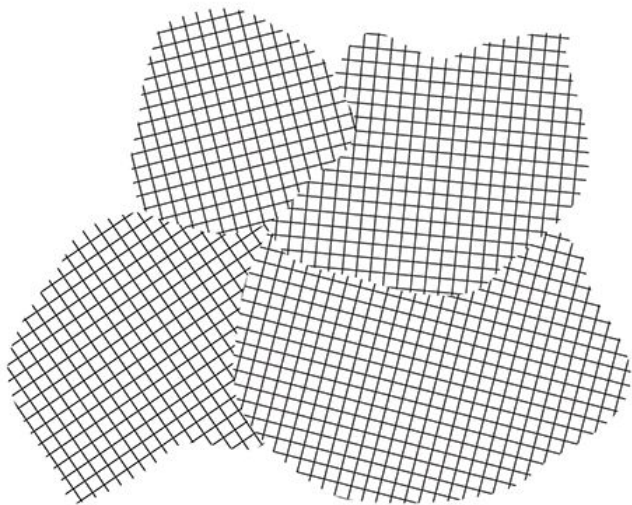
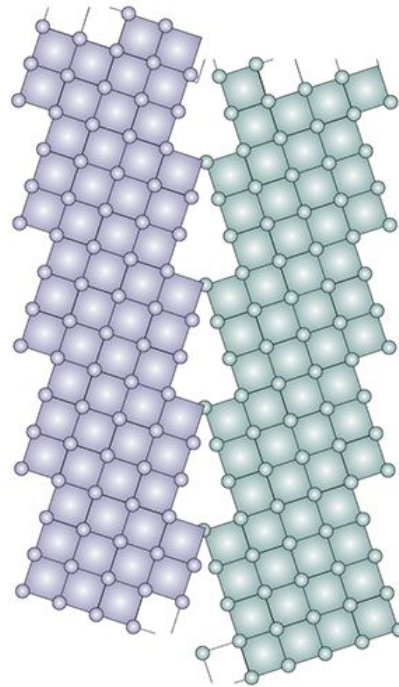


Схема строения границы зерна

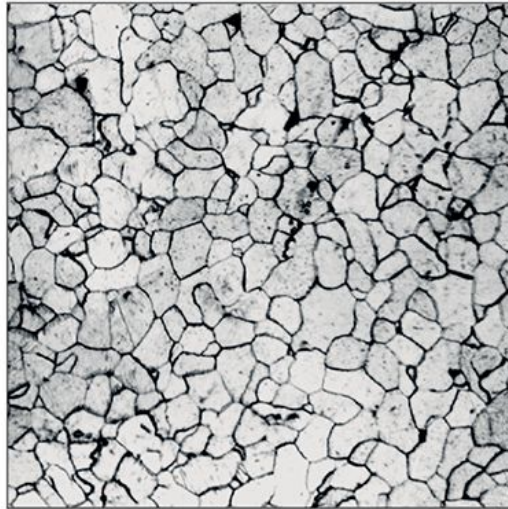


Различие
свойств в
зависимости от
направления
испытания
называются
анизотропией.

Реальный металл состоит из многих кристаллов. Произвольность ориентировки каждого кристалла приводит к тому, что в любом направлении располагается \approx одинаковое количество различно ориентированных кристаллов. В результате получается, что свойства тела одинаковы во всех направлениях, хотя свойства каждого кристалла, составляющего это тело, зависят от направления. Это явление называется (ложной изотропией)

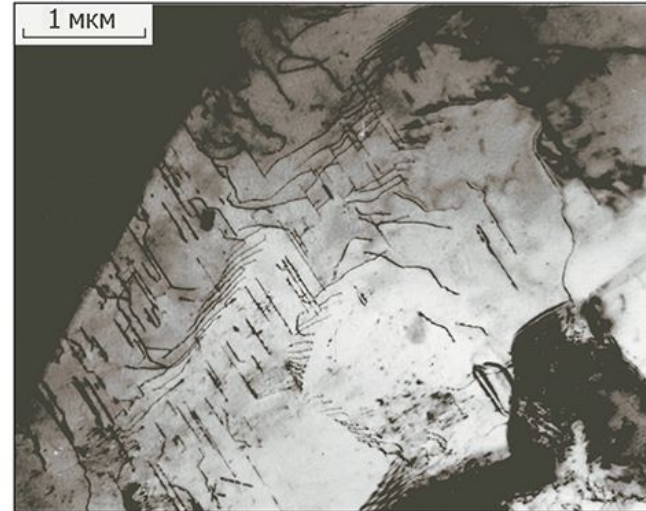
2. Превращения в твердом состоянии.

Зерно



x 150

Дислокации внутри зерна



x 15000

Атомы металла могут образовывать любую кристаллическую решетку. Однако устойчивым, т.е. реально существующим типом, является решетка, обладающая наиболее низким запасом свободной энергии. Ряд металлов при изменении t^0 — изменяют кристаллическую решетку.

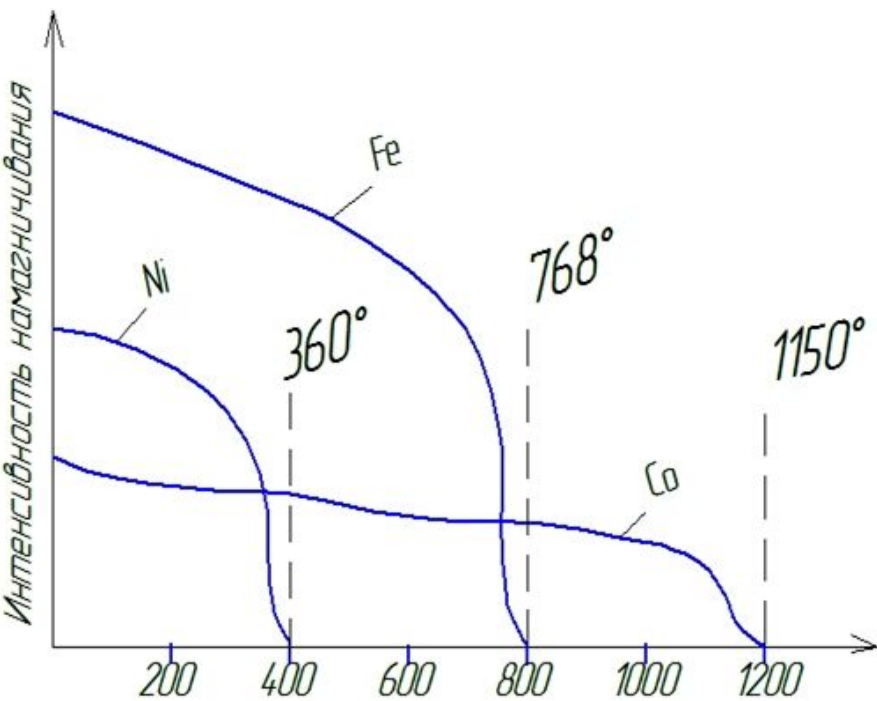
Существование металла (одного и того же) в нескольких кристаллических формах (с разными свойствами) называется **полиморфизмом, модификацией или аллотропией**.

Аллотропические превращения (переход из одной формы в другую) сопровождаются выделением или поглощением тепла.

Аллотропические формы обозначают греческими буквами α , β , γ и т. д. T^0 , при которой происходит переход из одной модификации в другую называется t^0 аллотропического превращения (Fe, Sn, Co, Mn, Ti)

2. Превращения в твердом состоянии.

- Некоторые металлы (Fe, Co, Ni) отличаются специфическими магнитными свойствами (способность хорошо намагничиваться) эти свойства называются ферромагнитными.
- Однако при нагреве ферромагнитные свойства металла постепенно теряются. Кюри показал, что полная потеря ферромагнитных свойств происходит при определенной t^0 названной точкой Кюри.



Магнитные свойства падают постепенно. Увеличение скорости не снижает t^0 превращения. Механические и некоторые физические свойства при превращении не изменяются.

Магнитные превращения не сопровождаются перекристаллизацией - образование новых зерен и изменением решетки, они связаны с внутренними изменениями в металле, при этом происходит изменение во взаимодействии внешних и внутренних электронных оболочек атомов.

3. Несовершенство кристаллической решетки и деформации.

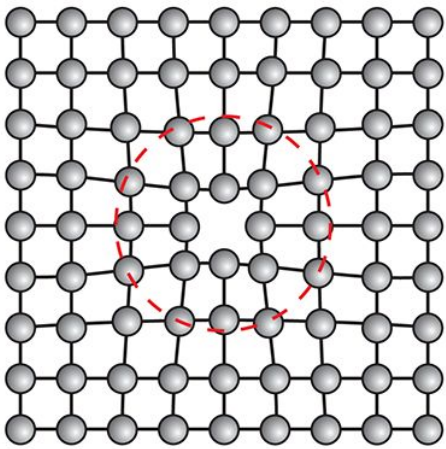


Реальные кристаллы металлов, в отличие от идеальных, обладают рядом несовершенств или дефектов, т. е. отклонений от правильного геометрического строения.

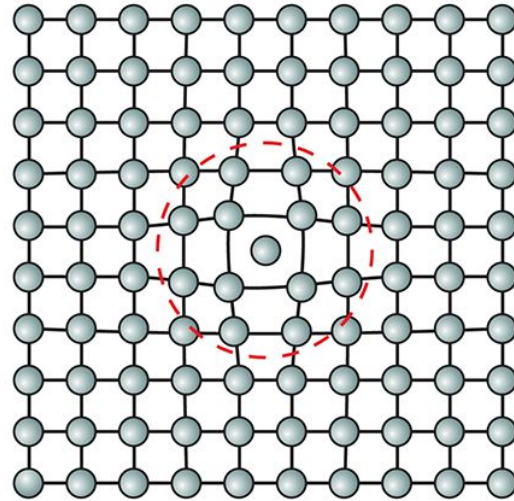
Это объясняется невозможностью получения абсолютно чистых металлов и отклонениями в процессе кристаллизации.

Дефекты строения кристаллов влияют на многие мех. и физ. свойства металлов. Реальный металлический кристалл содержит атомно-кристаллические и структурные несовершенства.

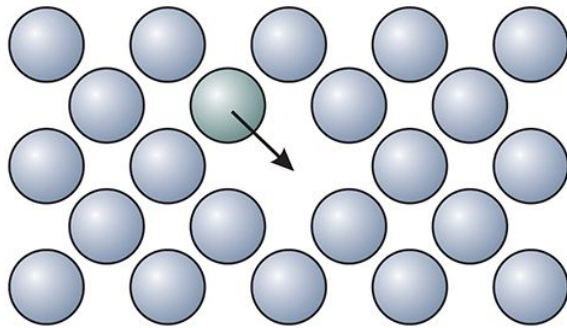
3. Несовершенства кристаллической решетки и деформации.



Вакансия - это узел кристаллической решетки, незанятый атомом.



Межузельный атом - это атом, расположенный в межузельном пространстве кристаллической решетки.



Вакансии – свободные узлы в атомно-кристаллической решетке (атомные дырки) с повышением t_0 число вакансий возрастает до 1 – 2 %.

Размер точечных дефектов мал во всех 3-х измерениях. Им искажают атомно-кристаллическую решетку основного металла.

Вакансии – свободные узлы в атомно-кристаллической решетке (атомные дырки) с повышением t_0 число вакансий возрастает до 1 – 2 %.

Промежуточные атомы – атомы смещенные в межузлия.

Атомы примесей – могут замещать атомы осн. металла в решетке ил быть внедренными в межузлия.

Следует отметить, что дефекты кристаллической решетки не являются неподвижными, а в процессе пластической деформации или самодеформации непрерывно перемещаются, образуя цепочки точечных – линейные дефекты.

Размер точечных дефектов мал во всех 3-х измерениях. Им искажают атомно-кристаллическую решетку основного металла.

3. Несовершенства кристаллической решетки и деформации.

Краевая дислокация

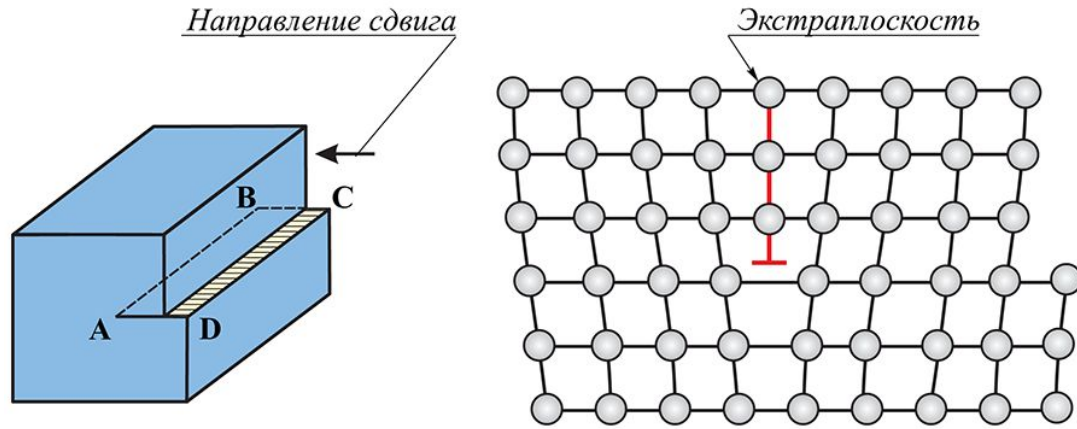
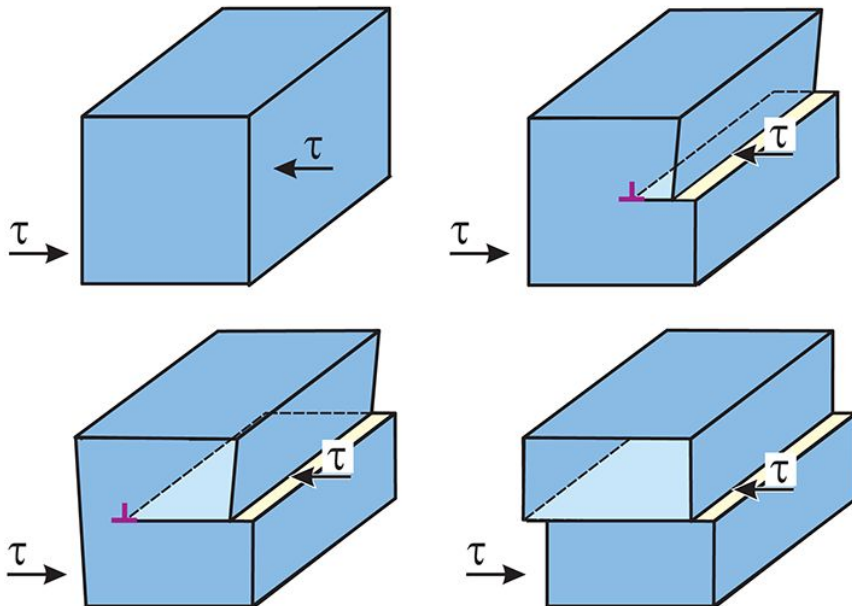


Схема движения краевой дислокации



Промежуточные атомы – атомы смещенные в межузлия.

Атомы примесей – могут замещать атомы осн. металла в решетке или быть внедренными в межузлия.

Размер линейных дефектов мал только в 2-х измерениях, они распространяются на значительную длину.

Важнейшим типом линейных дефектов является дислокации, которые отличаются высокой устойчивостью.

Если в кристалле имеется линейная полуплоскость, (которая может образовываться в процессе пластической деформации) то искаженная область у края этой полуплоскости называется краевой дислокацией.

3. Несовершенства кристаллической решетки и деформации.

Винтовая дислокация

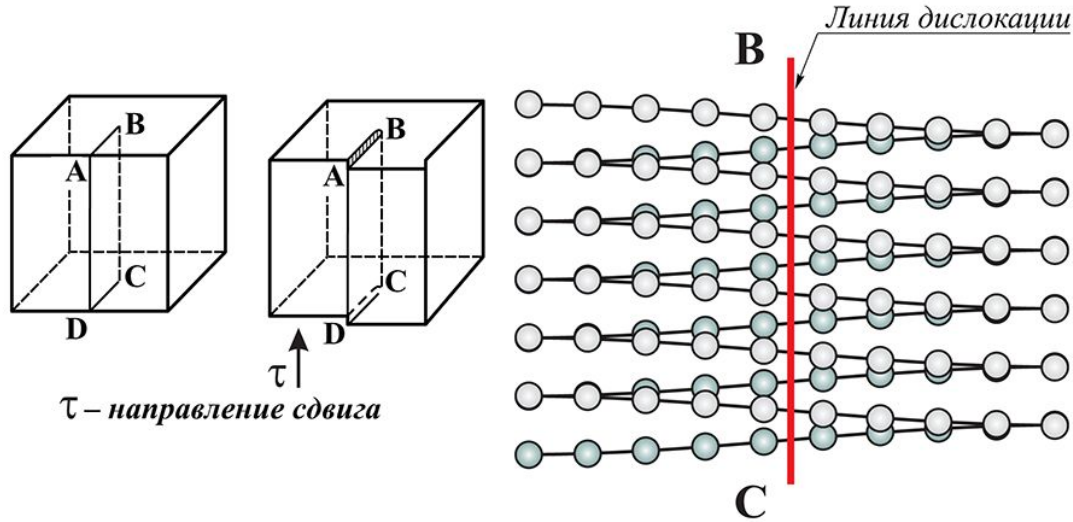
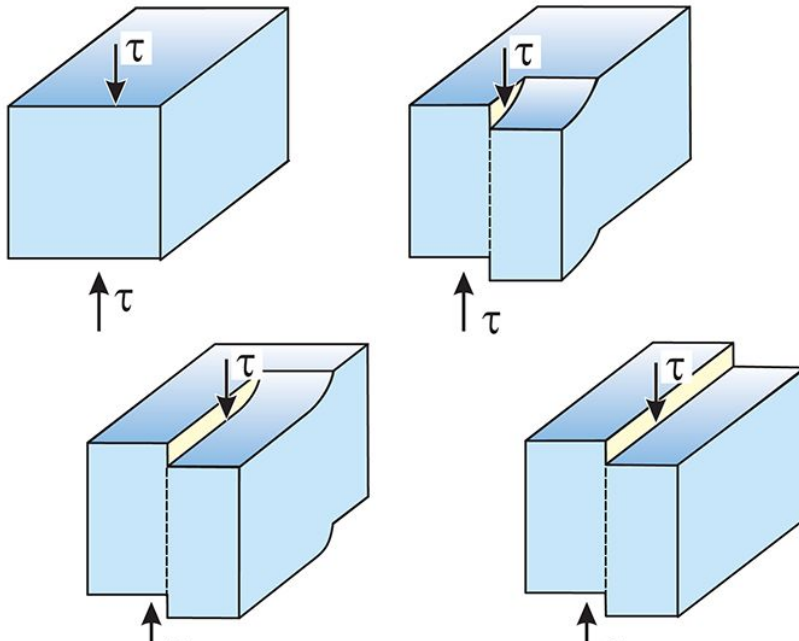


Схема движения винтовой дислокации



Если в кристалле имеется линейная полуплоскость, (которая может образовываться в процессе пластической деформации) то искаженная область у края этой полуплоскости называется красной дислокацией.

Краевая дислокация в виде прямой закрученной в спираль или по винту называется винтовой дислокацией. Обычно наблюдается и более сложные – смешанные дислокации.

Дислокацией хар-ся структурой (краевые, винтовые, смешанные) и плотностью.

Блоки повернуты относительно друг друга на угол в несколько минут. Фрагменты на угол в несколько градусов. Зерна металла разориентированы относительно друг друга на несколько десятков градусов.

3. Несовершенства кристаллической решетки и деформации.

- На количество дефектов оказывают влияние деформации. Деформацией называется процесс изменения формы металлов под действием внешних нагрузок или под влиянием физических и химических явлений, вызывающих частичные изменения объема (например при переходе из одной аллотропической формы в другую).
- В общем случае при комнатной t_0 деформация металла состоит из упругой и пластической.
- Упругая деформация происходит при действии нормальных и касательных напряжений. При упругой деформации временно изменяется расстояние между атомами в кристаллической решетке.

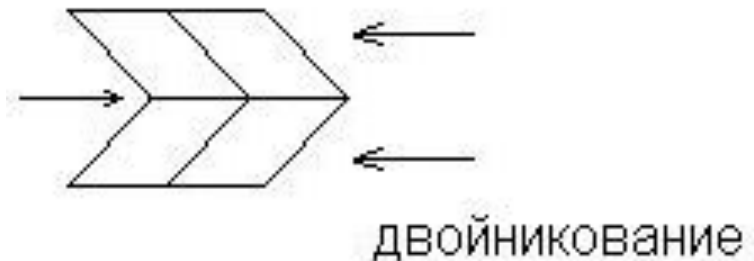
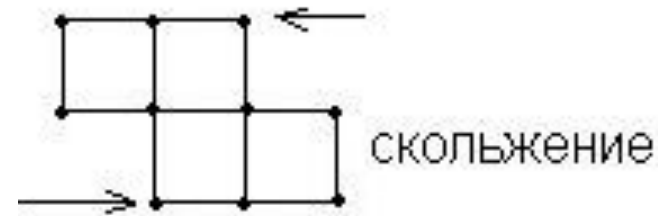


Пластическая деформация происходит только благодаря касательным напряжениям и заключается в скольжении слоев атомов, двойникование и путем перемещения дислокаций.

Механизм пластической деформации:

- 1) Скольжения
- 2) **Двойникования**
- 3) Изменение положения атомов
- 4) Разрушение

- Один и то же металл при мелкозернистом строении имеет повышенную прочность по сравнению с крупнозернистым, это объясняется упрочняющим действием границ и разного направления плоскостей скольжения у различно ориентированных



3. Несовершенства кристаллической решетки и деформации.

- Деформация металла сопровождается повышением прочности, твердости при понижении пластичности.
- Упрочнения металла под действием пластичной деформации (прессование, волочение и т. д.) называется наклепом.
- Состояние наклепа вызывается увеличением плотности дислокации, искажением кристаллической решетки, определенной ориентировкой зерен и их измельчением.
- С увеличением плотности дислокаций прочность падает, но только в начале, а потом увеличивается.
- Повышение реальной прочности с возрастанием плотности дислокаций обусловлено возникновением не только параллельных друг другу дислокаций, но и дислокаций в разных плоскостях и напряжениях. Так же дислокации будут мешать друг другу перемещаться и реальная прочность металла повышается.
- Увеличение полезной плотности дислокации достигается – механическим наклепом, термич. Обработкой и легированием
- Способность реального металла пластически деформироваться является полезным и важнейшим свойством (теоретическая прочность $\approx 100 \text{ кг/мм}^2$), однако дефекты ее резко снижают прочность стали удалось поднять в малых ее сечениях до 250 кг/мм^2)
- У неметаллов нет пластической деформации и упрочнения и несмотря на высокую прочность (Волокна в 3 раза прочнее) они не обладают необходимой вязкостью к высоким сопротивлениям. Ударным нагрузкам и при некотором увеличении напряжения сразу произойдет разрушение.

4. Рекристаллизация металлов.

- Деформированный металл содержит большое количество несовершенств (дефектов) в своей кристаллической решетке. Часть энергии затрачиваемой на пластическую деформацию осталась в металле и повышает его свободную энергию. Большое количество свободной энергии приводит металл в структурно-неустойчивое состояние, из которого он стремится перейти в более устойчивое с меньшим уровнем свободной энергии.
- Для перехода деформированного металла в устойчивое состояние необходимо увеличить подвижность атомов, т. е. нагреть металл.
- При нагреве до t^0 (300⁰ для Fe) происходит частичное снятие внутренних напряжений (устранение упругих напряжений и искажений кристаллической решетки в пределах одного зерна; не сопровождаемой пластической деформацией) этот процесс называется рекристаллизацией или отдыхом. При этом твердость и прочность снижаются на 20...30 %, пластичность возрастает незначительно, но происходит понижение хрупкости.
- При нагреве до $\approx 400^0\text{C}$ происходит процесс полигонизации, при этом устраняются упругие напряжения и искажения решетки во всем металле, процесс сопровождается пластической деформацией, происходит планомерное перемещение дислокаций, перераспределение их числа уменьшение плотности и группирование дислокаций в ряды. Снижается твердость и прочность, возрастает пластичность.

4. Рекристаллизация металлов.

- При более высоких t^0 – ах происходит рекристаллизация. Рекристаллизация – образование новых зерен и их рост за счет других. Полное освобождение металла от внутренних напряжений, резкое снижение твердости и прочности, увеличение пластичности.
- Температура, при которой образуются новые зерна называется t^0 рекристаллизации
$$T_{рек} = a * T_{пл}$$
- a – коэф. Зависящий от чистоты металла, чем чище, тем меньше ($a=0,1 \dots 0,2$ очень чистые $0,3; 0,4 \dots$); $T_{пл}$ - t^0 плавления.
- После выравнивания размеров зерен и выравнивания границ рекристаллизация заканчивается, строение и свойства металла
- Нагрев выше t^0 рекристаллизации для восстановления структуры и наклепанного металла называется рекристаллизационным отпуском.
- Пластическое деформирование при t^0 – ах выше $T_{рек}$., хотя упрочняет металл, но т.к. происходит рекристаллизация (сразу после деформации) упрочнение св-в из-за t^0 (ориентации зерен в направлении деформации).
- Пластическая деформация при высоких t^0 – ах, после которой не упрочнения называется горячей обработкой давлением (анизотропия, текстура)
- Обработка, давлением при t^0 –ах ниже $T_{рек}$. Вызывает наклеп и называется холодной обработкой.