

Материаловедение включает два больших раздела:

- металлы и сплавы;
- неметаллические материалы.

Основными конструкционными материалами, используемыми в машиностроении, ещё долго будут оставаться металлические сплавы. Это связано с тем, что металлы и сплавы на их основе обладают комплексом механических, физических, химических и технологических свойств, обеспечивающих широкое их применение в различных отраслях техники. Кроме того, металлы и сплавы составляют 85...95 % от массы машин. Поэтому при изучении материаловедения металлам и их сплавам уделяется главное внимание.

Все металлы условно делят на *черные* (железо и сплавы на его основе — сталь, чугун) и *цветные* (все остальные). Практическое значение различных металлов не одинаково. Наибольшее применение в технике приобрели черные металлы на основе железа. Они составляют более 90 % всей металлопродукции. Поэтому много лет основой машиностроения служили чёрные металлы - стали и чугуны. Эти материалы имеют много положительных качеств и в первую очередь обеспечивают конструкционную прочность деталей машин. Однако эти классические материалы имеют такие недостатки, как большая плотность и низкая коррозионная стойкость. Потери от коррозии составляют до 20 % годового производства изделий из стали и чугуна.

Однако цветные металлы обладают целым рядом ценных физико-химических свойств, которые делают их незаменимыми. В связи с этим наряду со сталями всё шире используются такие конструкционные материалы, как сплавы на основе титана, алюминия, магния. Эти лёгкие и прочные сплавы позволяют в 2...3 раза облегчить конструкцию машин и оборудования, в десятки раз уменьшить расходы на ремонт.



Также к металлическим материалам относят металлические сплавы, многослойные металлические материалы, материалы с поверхностным покрытием и спеченные сплавы.

Кроме металлических, в промышленности значительное место занимают различные **неметаллические материалы** — пластмассы, керамика, резина, композиционные материалы и др.

В группу неметаллических материалов объединены материалы естественного и искусственного происхождения, органические и неорганические. Они не содержат в своей основе металлов. **Материалы растительного происхождения** (древесина, лен, хлопок). Из них изготавливают доски, полотна, веревки, канаты и т.д.

**Керамика:** кирпич, камень, стекло и огнеупорные материалы. Изготавливают сосуды, тубы, огнеупорные изделия, электроизоляторы. **Минералы:** алмаз, рубин, сапфир, гранит, мрамор, асбест, гипс. **Цемент.**

**Полимерные материалы:** резина, пластмасса.

Использование неметаллических материалов приводит к экономии дефицитных металлических материалов, снижает затраты энергии на производство изделий, уменьшает их массу. Установлено, что один кг конструкционных пластмасс заменяет 4...5 кг чёрных металлов. Трудоёмкость выпуска одной тонны пластмассовых изделий в среднем на 450 человеко-часов меньше, чем того же количества металлических. При этом в 2...3 раза уменьшаются затраты и энергоресурсов. Но использование их в промышленности невелико (до 4 %) и предсказание тридцатилетней давности о том, что неметаллические материалы к концу века существенно потеснят металлические, не оправдалось.

Наблюдается тенденция к всё большей разработке и использованию технической керамики на основе самых распространённых в природе элементов – N, C, Si, O<sub>2</sub> и другие, которые имеют практически неограниченную сырьевую базу.



**Материаловедение базируется** на научных основах химии, физики и новейших достижениях в области технологии получения полуфабрикатов и изделий.

Знания основ материаловедения необходимы каждому специалисту, работающему в области создания и эксплуатации современных машин. Лишь зная свойства материалов, можно конструктору – научно обоснованно выбрать их для того или иного использования, технологу правильно спроектировать технологический процесс их обработки с высокими технико-экономическими показателями, экономисту машиностроительного производства – правильно рассчитать экономическую эффективность выбранной технологии и технологического оборудования.

### **ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ**

*Свойство* - это качественная, отличительная характеристика вещества, материала или изделия. В материаловедении эта характеристика является заключительным звеном во взаимосвязи «состав - химическая связь — структура — свойство», а при разработке технологии и создании нового материала — основным, определяющим параметром или условием его получения.

Совокупность различных свойств предопределяет назначение материала и граничные условия его эксплуатации.

Часто, особенно производственники, используют сходные с понятием “свойство” термины, такие, как “техническая характеристика”, “основные параметры”, “технические показатели” и др., которые в конкретном контексте строительного материаловедения являются не совсем корректными. Эти термины вполне приемлемы в тех случаях, когда они не подменяют понятие “свойство”.

*Свойство* — это отличительная особенность вещества, материала или изделия, которая проявляется во взаимодействии с окружающей средой или с другими веществами и соединениями.



В зависимости от вида окружающей среды и характера взаимодействия все свойства объединены в крупные группы. Например, теплопроводность, теплоемкость, температуропроводность и др. относятся к теплофизическим свойствам; водопоглощение, водопроницаемость и др. часто называют гидрофизическими свойствами; водостойкость, кислотостойкость, коррозионная стойкость и др. составляют группу химических свойств; упругость, пластичность, хрупкость и др. — упругодеформативные свойства, и т.д.

Количественно свойства определяются при испытании и, как правило, выражаются в физических величинах в соответствии с действующими стандартами.

### **Взаимосвязь основных свойств**

Так как свойства материала являются производными от его состава, химических связей и структуры, то они взаимосвязаны и находятся в равновесии. Известно, что при изменении какого-либо одного свойства под действием каких-то факторов в большей или меньшей степени изменяются и другие свойства материала. В строительном материаловедении хорошо известны такие зависимости, как плотность — теплопроводность, плотность — прочность, теплопроводность — электропроводность, упругость — пластичность и др.

## **КЛАССИФИКАЦИЯ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ**

**1. Механические свойства** характеризуются способностью материала сопротивляться деформированию и разрушаться под действием внешних воздействующих факторов.

- Прочность (способность материала сопротивляться разрушению и пластично деформироваться под воздействием внешних сил);
- Твердость (способность материалов сопротивляться деформированию в поверхностном слое при местном, контактном и силовом воздействии);
- Упругость (способность материала восстанавливать свою форму и размеры, под действием внешних сил без разрушения);
- Вязкость (способность материала поглощать механическую энергию и при этом испытывать значительную пластическую деформацию до разрушения);



- Хрупкость (способность материала разрушаться под действием внешних сил, сразу после упругой деформации).

**2. Физические свойства** характеризуют поверхность материала в тепловых, гравитационных, электромагнитных и радиоактивных полях.

- Свет (способность материала отражать световые лучи с определенной длиной световой волны);
- Плотность (масса единицы объема вещества);
- Температура плавления;
- Электропроводность (способность материала хорошо и без потерь проводить электрический ток);
- Теплопроводность (способность материала переносить Тепловую энергию от более нагретого участка к менее нагретому);
- Теплоёмкость (способность материала поглощать определенное количество теплоты);
- Магнитные (способность материала хорошо намагничиваться);
- Коэффициент объемного и линейного расширения.

Механические свойства материалов, такие как прочность, сопротивление разрушению, твёрдость и др. являются во многих случаях определяющими для принятия решения о применении материала. Механические свойства материалов, совокупность показателей, характеризующих сопротивление материала воздействующей на него нагрузке, его способность деформироваться при этом, а также особенности его поведения в процессе разрушения. Диаграмма деформации, Упругие свойства, Сопротивление пластической деформации, Характеристики пластичности, Характеристики разрушения, Временная зависимость прочности, Упругие свойства.

Наиболее простые виды деформациитела в целом:

растяжение-сжатие,

сдвиг,

изгиб,

кручение



## Тема 1.5. СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

+

### Тема 1.6. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ СПЛАВЫ

#### МЕТАЛЛЫ, ОСОБЕННОСТИ АТОМНО-КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ

В огромном ряду материалов, с незапамятных времен известных человеку и широко используемых им в своей жизни и деятельности, металлы всегда занимали особое место.

Подтверждение этому: и в названиях эпох (золотой, серебряный, бронзовый, железный века), на которые греки делили историю человечества; и в археологических находках металлических изделий (кованые медные украшения, сельскохозяйственные орудия); и в повсеместном использовании металлов и сплавов в современной технике.

Причина этого - в особых свойствах металлов, выгодно отличающих их от других материалов и делающих во многих случаях незаменимыми.

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

- «металлический блеск» (хорошая отражательная способность);
- пластичность;
- высокая теплопроводность;
- высокая электропроводность.

Данные свойства обусловлены особенностями строения металлов. Согласно теории металлического состояния, металл представляет собой вещество, состоящее из положительных ядер, вокруг которых по орбиталям вращаются электроны. На последнем уровне число электронов невелико и они слабо связаны с ядром. Эти электроны имеют возможность перемещаться по всему объёму металла, т.е. принадлежать целой совокупности атомов.



Таким образом, пластичность, теплопроводность и электропроводность обеспечиваются наличием «электронного газа».

Все металлы, затвердевающие в нормальных условиях, представляют собой кристаллические вещества, то есть укладка атомов в них характеризуется определённым порядком – периодичностью, как по различным направлениям, так и по различным плоскостям. Этот порядок определяется понятием *кристаллическая решётка*.

Другими словами, кристаллическая решётка это воображаемая пространственная решётка, в узлах которой располагаются частицы, образующие твердое тело.

*Элементарная ячейка* – элемент объёма из минимального числа атомов, многократным переносом которого в пространстве можно построить весь кристалл.

Элементарная ячейка характеризует особенности строения кристалла. Основными параметрами кристалла являются:

- размеры рёбер элементарной ячейки.  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – периоды решётки – расстояния между центрами ближайших атомов. В одном направлении выдерживаются строго определёнными.
- углы между осями ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ).
- координационное число ( $K$ ) указывает на число атомов, расположенных на ближайшем одинаковом расстоянии от любого атома в решётке.
- базис решетки количество атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку решетки.
- плотность упаковки атомов в кристаллической решётке – объём, занятый атомами, которые условно рассматриваются как жесткие шары. Ее определяют как отношение объема, занятого атомами к объему ячейки (для объемно-центрированной кубической решетки – 0,68, для гранецентрированной кубической решетки – 0,74)



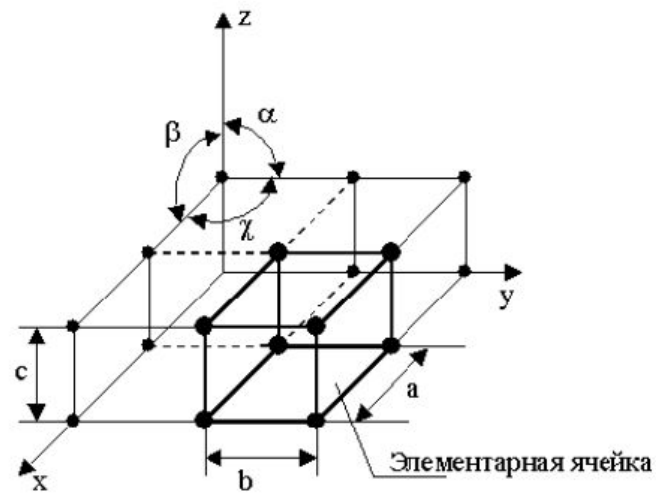


Рис. 1. Схема кристаллической решетки

Классификация возможных видов кристаллических решеток была проведена французским ученым О. Браве, соответственно они получили название «решетки Браве». Всего для кристаллических тел существует 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

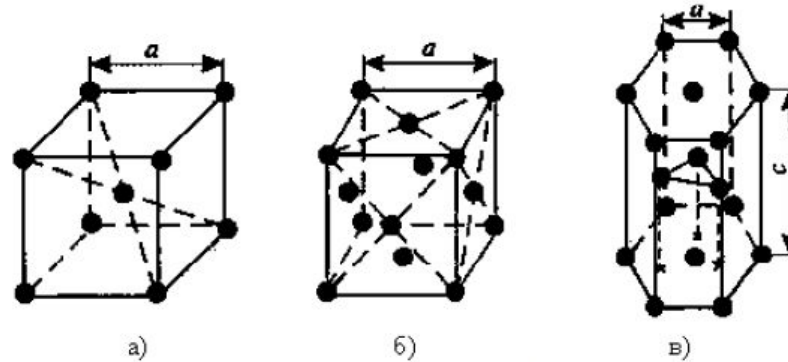


Рис. 2. Основные типы кристаллических решеток: а – объемно-центрированная кубическая; б – гранецентрированная кубическая; в – гексагональная плотноупакованная



Основными типами кристаллических решёток являются:

1. Объемно - центрированная кубическая (ОЦК) (см. рис. 2а), атомы располагаются в вершинах куба и в его центре (V, W, Ti, Fe<sub>α</sub>)
2. Гранецентрированная кубическая (ГЦК) (см. рис. 2б), атомы располагаются в вершинах куба и по центру каждой из 6 граней (Ag, Au, Fe<sub>γ</sub>)
3. Гексагональная, в основании которой лежит шестиугольник:
  - простая – атомы располагаются в вершинах ячейки и по центру 2 оснований (углерод в виде графита);
  - плотноупакованная (ГПУ) – имеется 3 дополнительных атома в средней плоскости (цинк).

### **Понятие об изотропии и анизотропии**

Свойства тела зависят от природы атомов, из которых оно состоит, и от силы взаимодействия между этими атомами. Силы взаимодействия между атомами в значительной степени определяются расстояниями между ними. 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*



В кристаллических телах атомы правильно располагаются в пространстве, причем по разным направлениям расстояния между атомами неодинаковы, что предопределяет существенные различия в силах взаимодействия между ними и, в конечном результате, разные свойства. Зависимость свойств от направления называется *анизотропией*

Чтобы понять явление анизотропии необходимо выделить 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*.

Для обозначения кристаллографических плоскостей и направлений пользуются *индексами Миллера*. Чтобы установить индексы Миллера, элементарную ячейку вписывают в пространственную систему координат (оси X, Y, Z – кристаллографические оси). За единицу измерения принимается период решетки.

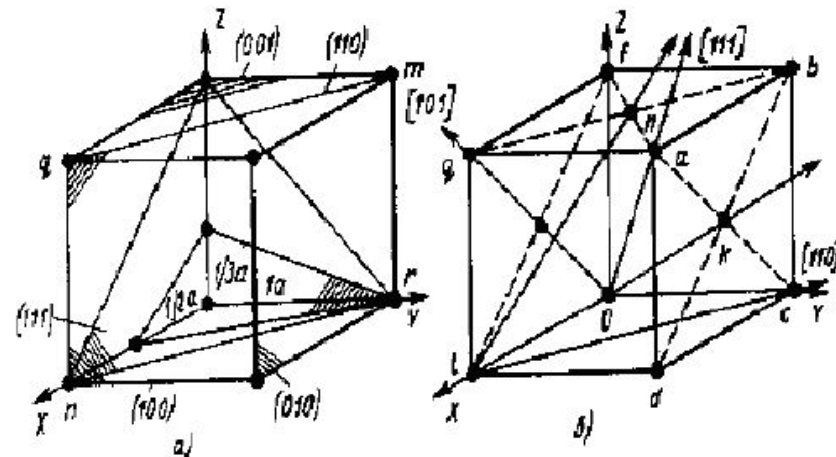


Рис.3. Примеры обозначения кристаллографических плоскостей (а) и кристаллографических направлений (б)



Для определения индексов кристаллографической кристаллографической плоскости необходимо:

- установить координаты точек пересечения плоскости с осями координат в единицах периода решетки;

- взять обратные значения этих величин;

- привести их к наименьшему целому кратному, каждому из полученных чисел.

Полученные значения простых целых чисел, не имеющие общего множителя, являются индексами Миллера для плоскости, указываются в круглых скобках. Примеры обозначения кристаллографических плоскостей на рис. 3 а.

Другими словами, индекс по оси показывает на сколько частей плоскость делит осевую единицу по данной оси. Плоскости, параллельные оси, имеют по ней индекс 0 (110)

Ориентация прямой определяется координатами двух точек. Для определения индексов кристаллографического направления необходимо:

- одну точку направления совместить с началом координат;

- установить координаты любой другой точки, лежащей на прямой, в единицах периода решетки

- привести отношение этих координат к отношению трех наименьших целых чисел.

Индексы кристаллографических направлений указываются в квадратных скобках [111]

В кубической решетке индексы направления, перпендикулярного плоскости (hkl) имеют те же индексы [hkl].



### **Аллотропия или полиморфные превращения.**

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

Каждый вид решетки представляет собой *аллотропическое видоизменение* или *модификацию*.

Примером аллотропического видоизменения в зависимости от температуры является железо (Fe).

$Fe: t < 911^{\circ}C$  – ОЦК -  $Fe_{\alpha}$ ;

$911 < t < 1392^{\circ}C$  – ГЦК -  $Fe_{\beta}$ ;

$1392 < t < 1539^{\circ}C$  – ОЦК -  $Fe_{\delta}$ ; (высокотемпературное  $Fe_{\alpha}$ )

Превращение одной модификации в другую протекает при постоянной температуре и сопровождается тепловым эффектом. Видоизменения элемента обозначается буквами греческого алфавита в виде индекса у основного обозначения металла.

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

Используя явление полиморфизма, можно упрочнять и разупрочнять сплавы при помощи термической обработки.



## **Магнитные превращения**

Некоторые металлы намагничиваются под действием магнитного поля. После удаления магнитного поля они обладают остаточным магнетизмом. Это явление впервые обнаружено на железе и получило название ферромагнетизма. К ферромагнетикам относятся железо, кобальт, никель и некоторые другие металлы.

При нагреве ферромагнитные свойства металла уменьшаются постепенно: вначале слабо, затем резко, и при определённой температуре (точка Кюри) исчезают (точка Кюри для железа –  $768^{\circ}\text{C}$ ). Выше этой температуры металлы становятся парамагнетиками. Магнитные превращения не связаны с изменением кристаллической решетки или микроструктуры, они обусловлены изменениями в характере межэлектронного взаимодействия.

## **СТРОЕНИЕ РЕАЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ. ДЕФЕКТЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ**

1. Точечные дефекты
2. Линейные дефекты:
3. Простейшие виды дислокаций – краевые и винтовые.

Из жидкого расплава можно вырастить монокристалл. Их обычно используют в лабораториях для изучения свойств того или иного вещества.

Металлы и сплавы, полученные в обычных условиях, состоят из большого количества кристаллов, то есть, имеют поликристаллическое строение. Эти кристаллы называются зёрнами. Они имеют неправильную форму и различно ориентированы в пространстве. Каждое зёрно имеет свою ориентировку кристаллической решетки, отличную от ориентировки соседних зёрен, вследствие чего свойства реальных металлов усредняются, и явления анизотропии не наблюдается



В кристаллической решетке реальных металлов имеются различные дефекты (несовершенства), которые нарушают связи между атомами и оказывают влияние на свойства металлов. Различают следующие структурные несовершенства:

- точечные – малые во всех трех измерениях;
- линейные – малые в двух измерениях и сколь угодно протяженные в третьем;
- поверхностные – малые в одном измерении.

### ***Точечные дефекты***

Одним из распространенных несовершенств кристаллического строения является наличие точечных дефектов: вакансий, дислоцированных атомов и примесей. (рис. 4.)



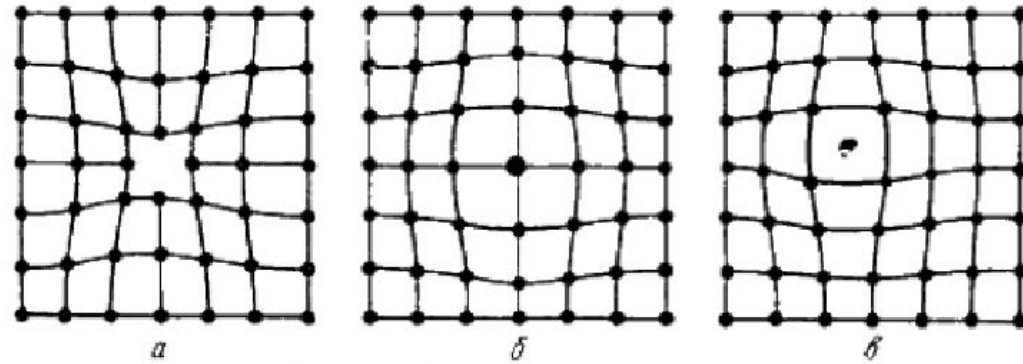


Рис.4. Точечные дефекты

Вакансия – отсутствие атомов в узлах кристаллической решетки, «дырки», которые образовались в результате различных причин. Образуется при переходе атомов с поверхности в окружающую среду или из узлов решетки на поверхность (границы зерен, пустоты, трещины и т. д.), в результате пластической деформации, при бомбардировке тела атомами или частицами высоких энергий (облучение в циклотроне или нейтронное облучение в ядерном реакторе). Концентрация вакансий в значительной степени определяется температурой тела. Перемещаясь по кристаллу, одиночные вакансии могут встречаться. И объединяться в дивакансии. Скопление многих вакансий может привести к образованию пор и пустот.



Дислоцированный атом – это атом, вышедший из узла решетки и занявший место в междоузлии. Концентрация дислоцированных атомов значительно меньше, чем вакансий, так как для их образования требуются существенные затраты энергии. При этом на месте переместившегося атома образуется вакансия.

Примесные атомы всегда присутствуют в металле, так как практически невозможно выплавить химически чистый металл. Они могут иметь размеры больше или меньше размеров основных атомов и располагаются в узлах решетки или междоузлиях.

Точечные дефекты вызывают незначительные искажения решетки, что может привести к изменению свойств тела (электропроводность, магнитные свойства), их наличие способствует процессам диффузии и протеканию фазовых превращений в твердом состоянии. При перемещении по материалу дефекты могут взаимодействовать.

### ***Линейные дефекты:***

Основными линейными дефектами являются дислокации. Априорное представление о дислокациях впервые использовано в 1934 году Орована и Тейлером при исследовании пластической деформации кристаллических материалов, для объяснения большой разницы между практической и теоретической прочностью металла.

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



***Простейшие виды дислокаций – краевые и винтовые.***

*Краевая дислокация* представляет собой линию, вдоль которой обрывается внутри кристалла край “лишней” полуплоскости (рис. 5)

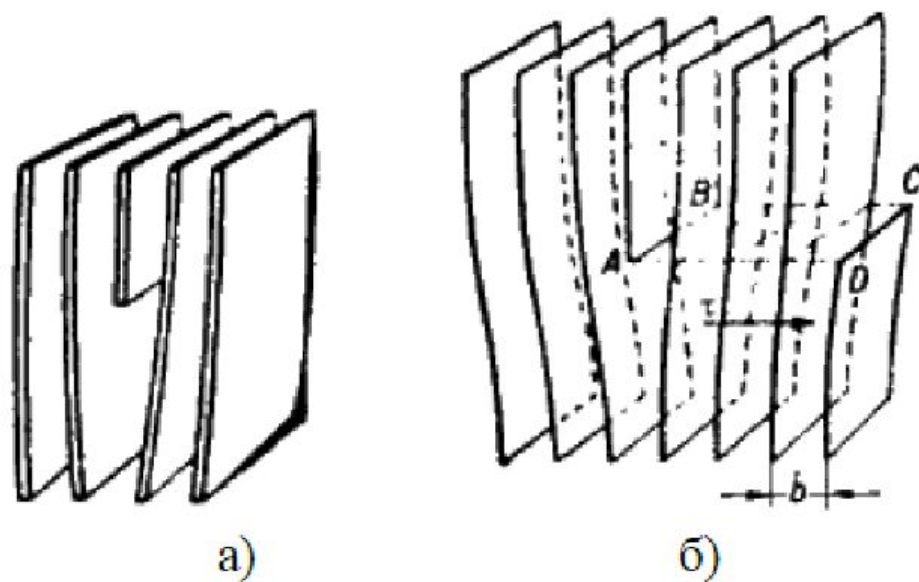


Рис. 5. Краевая дислокация (а) и механизм ее образования (б)



Неполная плоскость называется *экстраплоскостью*.

Большинство дислокаций образуются путем сдвигового механизма. Ее образование можно описать при помощи следующей операции. Надрезать кристалл по плоскости ABCD, сдвинуть нижнюю часть относительно верхней на один период решетки в направлении, перпендикулярном АВ, а затем вновь сблизить атомы на краях разреза внизу.

Наибольшие искажения в расположении атомов в кристалле имеют место вблизи нижнего края экстраплоскости. Вправо и влево от края экстраплоскости эти искажения малы (несколько периодов решетки), а вдоль края экстраплоскости искажения простираются через весь кристалл и могут быть очень велики (тысячи периодов решетки) (рис. 6).

Если экстраплоскость находится в верхней части кристалла, то краевая дислокация – положительная ( $\perp$ ), если в нижней, то – отрицательная ( $\Uparrow$ ). Дислокации одного знака отталкиваются, а противоположные притягиваются.

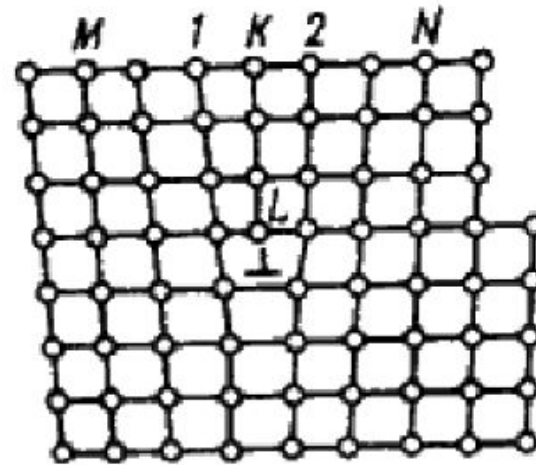


Рис. 6. Искажения в кристаллической решетке при наличии краевой дислокации



Другой тип дислокаций был описан Бюргерсом, и получил название *винтовая дислокация*

*Винтовая дислокация* получена при помощи частичного сдвига по плоскости Q вокруг линии EF (рис. 7) На поверхности кристалла образуется ступенька, проходящая от точки E до края кристалла. Такой частичный сдвиг нарушает параллельность атомных слоев, кристалл превращается в одну атомную плоскость, закрученную по винту в виде полого геликоида вокруг линии EF, которая представляет границу, отделяющую часть плоскости скольжения, где сдвиг уже произошел, от части, где сдвиг не начинался. Вдоль линии EF наблюдается макроскопический характер области несовершенства, в других направлениях ее размеры составляют несколько периодов.

Если переход от верхних горизонтов к нижним осуществляется поворотом по часовой стрелке, то дислокация *правая*, а если поворотом против часовой стрелки – *левая*.

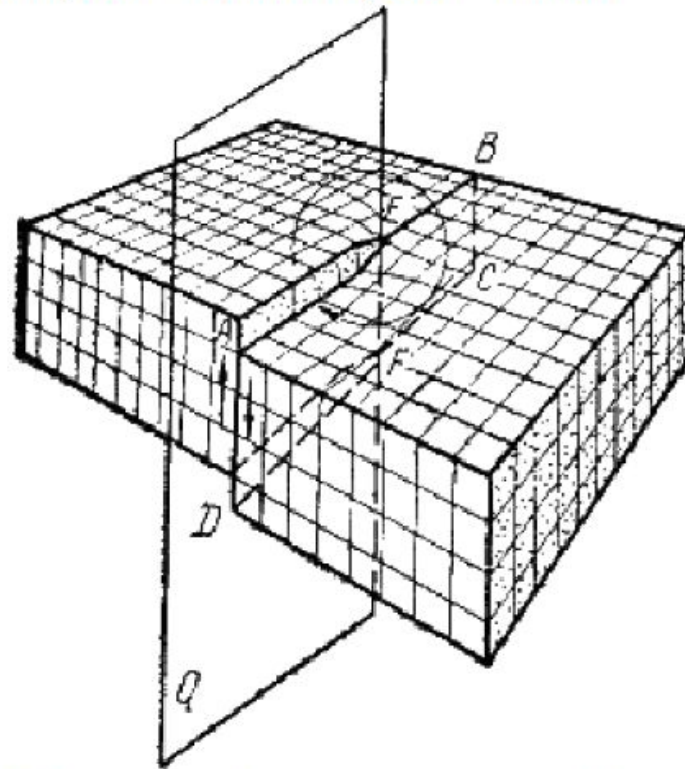


Рис. 7. Механизм образования винтовой дислокации

Винтовая дислокация не связана с какой-либо плоскостью скольжения, она может перемещаться по любой плоскости, проходящей через линию дислокации. Вакансии и дислоцированные атомы к винтовой дислокации не стекают.

В процессе кристаллизации атомы вещества, выпадающие из пара или раствора, легко присоединяются к ступеньке, что приводит к спиральному механизму роста кристалла.

Линии дислокаций не могут обрываться внутри кристалла, они должны либо быть замкнутыми, образуя петлю, либо разветвляться на несколько дислокаций, либо выходить на поверхность кристалла.

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  $1 \text{ м}^3$

$$\rho = \frac{\sum l}{V} \quad (\text{см}^{-2}; \text{м}^{-2})$$



Плотность дислокаций изменяется в широких пределах и зависит от состояния материала. После тщательного отжига плотность дислокаций составляет  $10^5 \dots 10^7 \text{ м}^{-2}$ , в кристаллах с сильно деформированной кристаллической решеткой плотность дислокаций достигает  $10^{15} \dots 10^{16} \text{ м}^{-2}$ .

Плотность дислокации в значительной мере определяет пластичность и прочность материала (рис. 8)

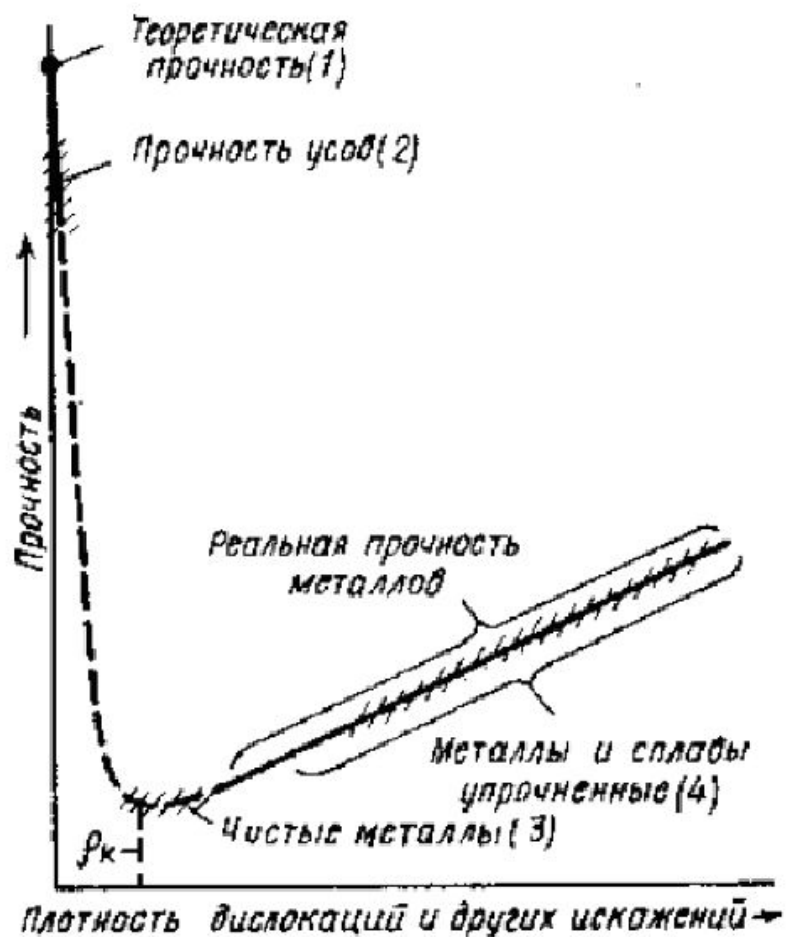


Рис. 8. Влияние плотности дислокаций на прочность

Минимальная прочность определяется критической плотностью дислокаций  $\rho = 10^5 \dots 10^7 \text{ м}^{-2}$

Если плотность меньше значения  $a$ , то сопротивление деформированию резко возрастает, а прочность приближается к теоретической. Повышение прочности достигается созданием металла с бездефектной структурой, а также повышением плотности дислокаций, затрудняющим их движение. В настоящее время созданы кристаллы без дефектов – нитевидные кристаллы длиной до 2 мм, толщиной 0,5...20 мкм - “усы“ с прочностью, близкой к теоретической: для железа  $\sigma_B = 13000 \text{ МПа}$ , для меди  $\sigma_B = 30000 \text{ МПа}$ . При упрочнении металлов увеличением плотности дислокаций, она не должна превышать значений  $10^{15} \dots 10^{16} \text{ м}^{-2}$ . В противном случае образуются трещины.

Дислокации влияют не только на прочность и пластичность, но и на другие свойства кристаллов. С увеличением плотности дислокаций возрастает внутреннее, изменяются оптические свойства, повышается электросопротивление металла. Дислокации увеличивают среднюю скорость диффузии в кристалле, ускоряют старение и другие процессы, уменьшают химическую стойкость, поэтому в



результате обработки поверхности кристалла специальными веществами в местах выхода дислокаций образуются ямки.

Дислокации образуются при образовании кристаллов из расплава или газообразной фазы, при срастании блоков с малыми углами разориентировки. При перемещении вакансий внутри кристалла, они концентрируются, образуя полости в виде дисков. Если такие диски велики, то энергетически выгодно “захлопывание” их с образованием по краю диска краевой дислокации. Образуются дислокации при деформации, в процессе кристаллизации, при термической обработке.

*Поверхностные дефекты* – границы зерен, фрагментов и блоков (рис. 9).

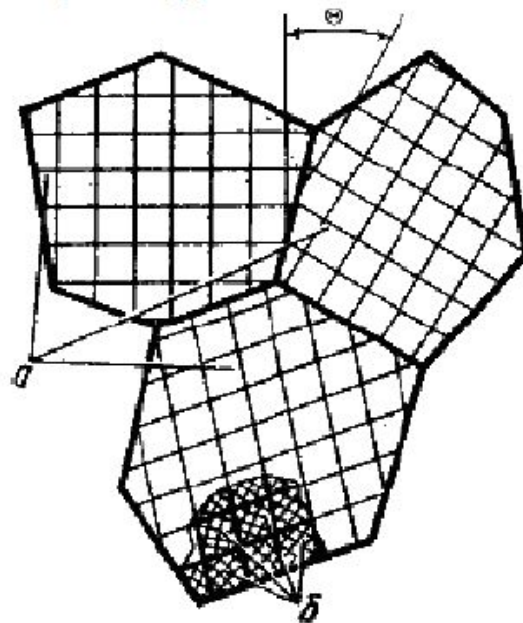


Рис. 9. Разориентация зерен и блоков в металле

Размеры зерен составляют до 1000 мкм. Углы разориентации составляют до нескольких десятков градусов ( $\theta$ ).

Граница между зернами представляет собой тонкую в 5 – 10 атомных диаметров поверхностную зону с максимальным нарушением порядка в расположении атомов.

Строение переходного слоя способствует скоплению в нем дислокаций. На границах зерен повышена концентрация примесей, которые понижают поверхностную энергию. Однако и внутри зерна никогда не наблюдается идеального строения кристаллической решетки. Имеются участки, разориентированные один относительно другого на несколько градусов ( $\theta_1$ ). Эти участки называются *фрагментами*. Процесс деления зерен на фрагменты называется *фрагментацией* или *полигонизацией*.

В свою очередь каждый фрагмент состоит из блоков, размерами менее 10 мкм, разориентированных на угол менее одного градуса ( $\theta_2$ ). Такую структуру называют *блочной* или *мозаичной*.



## ОБЩАЯ ТЕОРИЯ СПЛАВОВ. СТРОЕНИЕ, КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ И СВОЙСТВА СПЛАВОВ. ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ.

1. Понятие о сплавах и методах их получения
2. Основные понятия в теории сплавов.
3. Особенности строения, кристаллизации и свойств сплавов: механических смесей, твердых растворов, химических соединений
4. Классификация сплавов твердых растворов.
5. Кристаллизация сплавов.
6. Диаграмма состояния.

### **Понятие о сплавах и методах их получения**

Под сплавом понимают вещество, полученное сплавлением двух или более элементов. Возможны другие способы приготовления сплавов: спекания, электролиз, возгонка. В этом случае вещества называются псевдосплавами.

Сплав, приготовленный преимущественно из металлических элементов и обладающий металлическими свойствами, называется металлическим сплавом. Сплавы обладают более разнообразным комплексом свойств, которые изменяются в зависимости от состава и метода обработки.



## **Основные понятия в теории сплавов.**

*Система* – группа тел выделяемых для наблюдения и изучения.

В металловедении системами являются металлы и металлические сплавы. Чистый металл является простой однокомпонентной системой, сплав – сложной системой, состоящей из двух и более компонентов.

*Компоненты* – вещества, образующие систему. В качестве компонентов выступают чистые вещества и химические соединения, если они не диссоциируют на составные части в исследуемом интервале температур.

*Фаза* – однородная часть системы, отделенная от других частей системы поверхностного раздела, при переходе через которую структура и свойства резко меняются.

*Вариантность* ( $C$ ) (число степеней свободы) – это число внутренних и внешних факторов (температура, давление, концентрация), которые можно изменять без изменения количества фаз в системе.

Если вариантность  $C = 1$  (моновариантная система), то возможно изменение одного из факторов в некоторых пределах, без изменения числа фаз.

Если вариантность  $C = 0$  (инвариантная система), то внешние факторы изменять нельзя без изменения числа фаз в системе

Существует математическая связь между числом компонентов ( $K$ ), числом фаз ( $\Phi$ ) и вариантностью системы ( $C$ ). Это *правило фаз* или *закон Гиббса*

$$C = K - \Phi + 2$$



Если принять, что все превращения происходят при постоянном давлении, то число переменных уменьшится

$$C = K - \Phi + 1$$

где:  $C$  – число степеней свободы,  $K$  – число компонентов,  $\Phi$  – число фаз,  $1$  – учитывает возможность изменения температуры.

### **Особенности строения, кристаллизации и свойств сплавов: механических смесей, твердых растворов, химических соединений**

Строение металлического сплава зависит от того, в какие взаимодействия вступают компоненты, составляющие сплав. Почти все металлы в жидком состоянии растворяются друг в друге в любых соотношениях. При образовании сплавов в процессе их затвердевания возможно различное взаимодействие компонентов.

*В зависимости от характера взаимодействия компонентов различают сплавы:*

1. механические смеси;
2. химические соединения;
3. твердые растворы.

Сплавы *механические смеси* образуются, когда компоненты не способны к взаимному растворению в твердом состоянии и не вступают в химическую реакцию с образованием соединения.

Образуются между элементами значительно различающимися по строению и свойствам, когда сила взаимодействия между однородными атомами больше чем между разнородными. Сплав состоит из кристаллов входящих в него компонентов (рис. 10). В сплавах сохраняются кристаллические решетки компонентов.

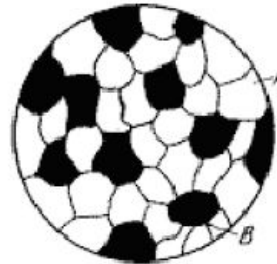


Рис. 10. Схема микроструктуры механической смеси

Сплавы *химические соединения* образуются между элементами, значительно различающимися по строению и свойствам, если сила взаимодействия между разнородными атомами больше, чем между однородными.

**Особенности этих сплавов:**

1. Постоянство состава, то есть сплав образуется при определенном соотношении компонентов, химическое соединение обозначается  $A_n B_m$
2. Образуется специфическая, отличающаяся от решеток элементов, составляющих химическое соединение, кристаллическая решетка с правильным упорядоченным расположением атомов (рис. 11)
3. Ярко выраженные индивидуальные свойства
4. Постоянство температуры кристаллизации, как у чистых компонентов

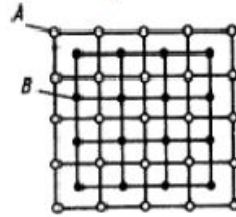


Рис. 11. Кристаллическая решетка химического соединения

Сплавы *твердые растворы* – это твердые фазы, в которых соотношения между компонентами могут изменяться. Являются кристаллическими веществами.

Характерной особенностью твердых растворов является: наличие в их кристаллической решетке разнородных атомов, при сохранении типа решетки растворителя.

Твердый раствор состоит из однородных зерен (рис. 12).

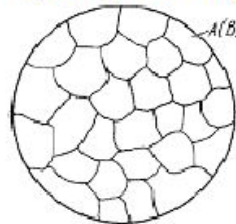


Рис.12. Схема микроструктуры твердого раствора



## **Классификация сплавов твердых растворов.**

По степеням растворимости компонентов различают твердые растворы:

- с неограниченной растворимостью компонентов;
- с ограниченной растворимостью компонентов.

При неограниченной растворимости компонентов кристаллическая решетка компонента растворителя по мере увеличения концентрации растворенного компонента плавно переходит в кристаллическую решетку растворенного компонента.

Для образования растворов с неограниченной растворимостью необходимы:

1. изоморфность (однотипность) кристаллических решеток компонентов;
2. близость атомных радиусов компонентов, которые не должны отличаться более чем на 8...13 %.
3. близость физико-химических свойств подобных по строению валентных оболочек атомов.

При ограниченной растворимости компонентов возможна концентрация растворенного вещества до определенного предела, При дальнейшем увеличении концентрации однородный твердый раствор распадается с образованием двухфазной смеси.

По характеру распределения атомов растворенного вещества в кристаллической решетке растворителя различают твердые растворы:

- замещения;
- внедрения;
- вычитания.

В растворах замещения в кристаллической решетке растворителя часть его атомов замещена атомами растворенного элемента (рис. 13 а). Замещение осуществляется в случайных местах, поэтому такие растворы называют неупорядоченными твердыми растворами.



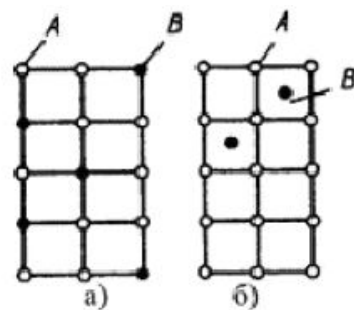


Рис.13. Кристаллическая решетка твердых растворов замещения (а), внедрения (б)

При образовании растворов замещения периоды решетки изменяются в зависимости от разности атомных диаметров растворенного элемента и растворителя. Если атом растворенного элемента больше атома растворителя, то элементарные ячейки увеличиваются, если меньше – сокращаются. В первом приближении это изменение пропорционально концентрации растворенного компонента. Изменение параметров решетки при образовании твердых растворов – важный момент, определяющий изменение свойств. Уменьшение параметра ведет к большему упрочнению, чем его увеличение.

Твердые растворы внедрения образуются внедрением атомов растворенного компонента в поры кристаллической решетки растворителя (рис. 13 б).

Образование таких растворов, возможно, если атомы растворенного элемента имеют малые размеры. Такими являются элементы, находящиеся в начале периодической системы Менделеева, углерод, водород, азот, бор. Размеры атомов превышают размеры межатомных промежутков в кристаллической решетке металла, это вызывает искажение решетки и в ней возникают напряжения. Концентрация таких растворов не превышает 2-2.5%

Твердые растворы вычитания или растворы с дефектной решеткой образуются на базе химических соединений, при этом возможна не только замена одних атомов в узлах кристаллической решетки другими, но и образование пустых, не занятых атомами, узлов в решетке.

К химическому соединению добавляют, один из входящих в формулу элементов, его атомы занимают нормальное положение в решетке соединения, а места атомов другого элемента остаются, незанятыми.



## **Кристаллизация сплавов.**

Кристаллизация сплавов подчиняется тем же закономерностям, что и кристаллизация чистых металлов. Необходимым условием является стремление системы в состояние с минимумом свободной энергии.

Основным отличием является большая роль диффузионных процессов, между жидкостью и кристаллизующейся фазой. Эти процессы необходимы для перераспределения разнородных атомов, равномерно распределенных в жидкой фазе.

В сплавах в твердых состояниях, имеют место процессы перекристаллизации, обусловленные аллотропическими превращениями компонентов сплава, распадом твердых растворов, выделением из твердых растворов вторичных фаз, когда растворимость компонентов в твердом состоянии меняется с изменением температуры.

Эти превращения называют фазовыми превращениями в твердом состоянии.

При перекристаллизации в твердом состоянии образуются центры кристаллизации и происходит их рост.

Обычно центры кристаллизации возникают по границам зерен старой фазы, где решетка имеет наиболее дефектное строение, и где имеются примеси, которые могут стать центрами новых кристаллов. У старой и новой фазы, в течение некоторого времени, имеются общие плоскости. Такая связь решеток называется когерентной связью. В случае различия строения старой и новой фаз превращение протекает с образованием промежуточных фаз.

Нарушение когерентности и обособления кристаллов наступает, когда они приобретут определенные размеры.

Процессы кристаллизации сплавов изучаются по диаграммам состояния.