



**Физика твердого тела** – один из тех столпов, на которых покоится современное технологическое общество. В сущности, вся армия инженеров работает над наилучшим использованием твердых материалов при проектировании и изготовлении самых разнообразных инструментов, станков, механических и электронных компонентов, необходимых в таких областях, как связь, транспорт, компьютерная техника, а также фундаментальные исследования

Внешнее механическое воздействие на тело вызывает смещение атомов из равновесных положений и приводит к изменению формы и объема тела, т. е. к его деформации.

Самые простые виды деформации — растяжение и сжатие. Растяжение испытывают тросы подъемных кранов, канатных дорог, буксирные тросы, струны музыкальных инструментов. Сжатию подвергаются стены и фундаменты зданий. Изгиб испытывают балки перекрытий в зданиях, мостах. Деформация изгиба сводится к деформациям сжатия и растяжения, различным в разных частях тела.

# Структура

Твердое тело состоит из атомов. Само его существование указывает на наличие интенсивных сил притяжения, связывающих атомы воедино, и сил отталкивания, без которых между атомами не было бы промежутков. В результате таких взаимодействий атомы твердого тела частично теряют свои индивидуальные свойства, и именно этим объясняются новые, коллективные свойства системы атомов, которая называется твердым телом.

# Твердые тела

## Кристаллические

- Кристаллическое строение, кристаллическая решетка
- Имеют температуру плавления,  $t_{\text{плавления}} = \text{const}$ 
  - Медь,  $t_{\text{плавления}} = 1083^{\circ}\text{C}$
  - Цинк,  $t_{\text{плавления}} = 420^{\circ}\text{C}$
  - Алюминий,  $t_{\text{плавления}} = 600^{\circ}\text{C}$
- Анизотропны

## Аморфные

- Не имеют кристаллической решетки
- Не имеют температуры плавления
- Изотропны
- Обладают текучестью
- Имеют только ближний порядок
- Способны переходить в кристаллическое и жидкое состояние
- Обладают текучестью
- Имеют только ближний порядок
- Способны переходить в кристаллическое и жидкое состояние

***Аморфные твердые тела*** – это тела, у которых нет строгого порядка в расположении атомов и молекул.

## Симметрия и классификация кристаллов

Кристаллографией (в несколько ограниченном смысле слова) называется наука, описывающая геометрические свойства кристаллов и их классификацию на основе понятия симметрии. Изучение кристаллической структуры лежит в основе физики твердого тела. Основная сумма данных кристаллографии была накоплена уже к концу 19 в.

**Кристаллы** – это твердые тела, атомы или молекулы, которых занимают определенные упорядоченные положения в пространстве.

Одиночные кристаллы называются *монокристаллами*. Твердое тело состоящее из большого числа маленьких кристалликов, называют *поликристаллами*. Физические свойства поликристаллов одинаковы по всем направлениям – изотропия.



**Деформация и напряжение.** Деформацию сжатия и растяжения можно характеризовать абсолютным удлинением  $\Delta l$ , равным разности длин образца до растяжения  $l_0$  и после него :

$$\Delta l = l - l_0.$$

Абсолютное удлинение  $\Delta l$  при растяжении положительно, при сжатии имеет отрицательное значение.

Отношение абсолютного удлинения  $\Delta l$  к длине образца  $l_0$  называется *относительным удлинением*  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}. \quad (30.1)$$

При деформации тела возникают силы упругости. Физическая величина, равная отношению модуля силы упругости к площади сечения тела, называется *механическим напряжением*  $\sigma$ :

$$\sigma = \frac{F}{S}. \quad (30.2)$$

За единицу механического напряжения в СИ принят *паскаль* (Па).  $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$ .

**Модуль упругости.** При малых деформациях напряжение прямо пропорционально относительному удлинению:

$$\sigma = E|\varepsilon|. \quad (30.3)$$

Коэффициент пропорциональности  $E$  в уравнении (30.3) называется *модулем упругости*. Модуль упругости одинаков для образцов любой формы и размеров, изготовленных из одного материала:

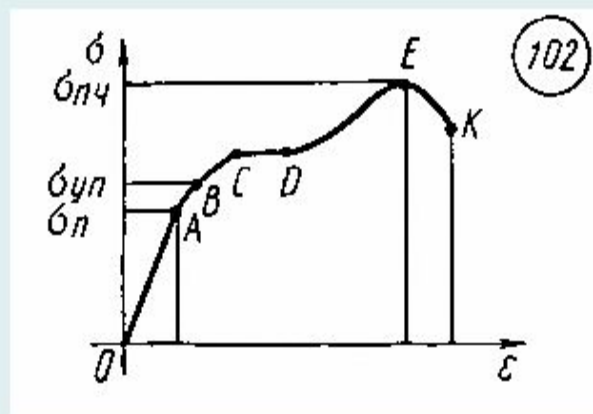
$$E = \frac{\sigma}{|\varepsilon|} = \frac{Fl_0}{|\Delta|S} = const. \quad (30.4)$$

Из формулы (30.4) следует, что

$$F = \frac{ES}{l_0}|\Delta|. \quad (30.5)$$

Сравнив выражение (30.5) с законом Гука, получим, что жесткость  $k$  стержня пропорциональна произведению модуля Юнга на площадь поперечного сечения стержня и обратно пропорциональна его длине.

**Диаграмма растяжения.** Зависимость напряжения  $\sigma$  от относительного удлинения  $\varepsilon$  является одной из важнейших характеристик механических свойств твердых тел. Графическое изображение этой зависимости называется *диаграммой растяжения*. По оси ординат откладывается механическое напряжение  $\sigma$ , по оси абсцисс — относительное удлинение  $\varepsilon$  (рис. 102).



Закон Гука выполняется при небольших деформациях. Максимальное напряжение  $\sigma_{п}$ , при котором еще выполняется закон Гука, называется *пределом пропорциональности*. За пределом пропорциональности (точка  $A$ ) напряжение перестает быть пропорциональным относительному удлинению; до некоторого напряжения после снятия нагрузки размеры тела восстанавливаются полностью. Такая деформация называется *упругой*. Максимальное напряжение  $\sigma_{уп}$ , при котором деформация еще остается упругой, называется *пределом упругости* (точка  $B$ ). Большинство металлов испытывает упругую деформацию до значений  $\varepsilon \leq 0,1\%$ .

При напряжениях, превышающих предел упругости  $\sigma_{уп}$ , образец после снятия нагрузки не восстанавливает свою форму или первоначальные размеры. Такие деформации называются остаточными или *пластическими*.

В области пластической деформации (участок  $CD$ ) деформация происходит почти без увеличения напряжения. Это явление называется *текучестью* материала.

Материалы, у которых область текучести  $CD$  значительна, могут без разрушения выдерживать большие деформации. Если же область текучести материала почти отсутствует, он без разрушения сможет выдержать лишь небольшие деформации. Такие материалы называются *пределом прочности*  $\sigma_{пч}$ . После точки  $E$  кривая идет вниз и дальнейшая деформация вплоть до разрыва (точка  $K$ ) происходит при все меньшем напряжении.

## Дефекты в кристаллах. Способы повышения прочности твердых тел.

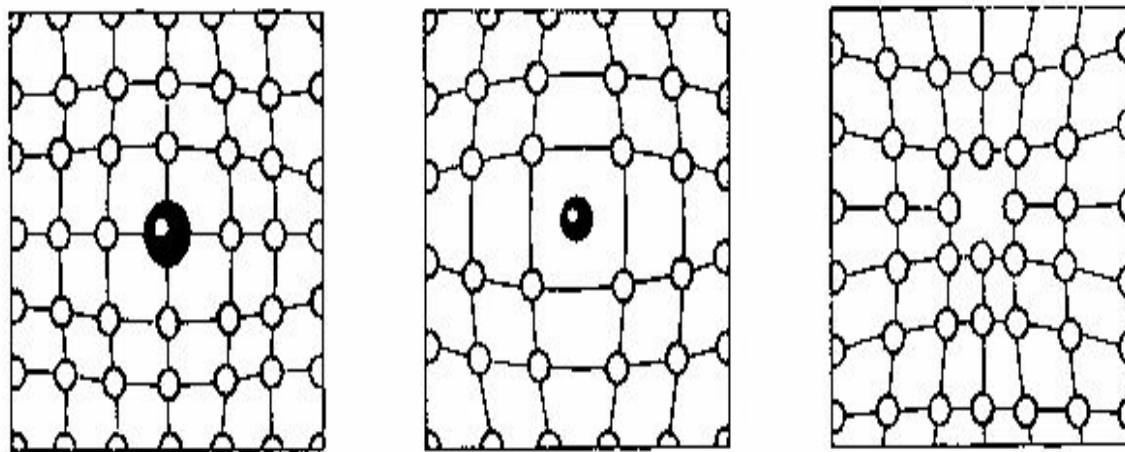
Кристаллическими телами являются все металлические изделия — стальные каркасы зданий и мостов, рельсы железных дорог, линии электропередач, станки, машины, поезда, самолеты.

Одной из важнейших задач науки и техники является создание прочных и надежных машин, станков и зданий с минимальной затратой металлов и других материалов.

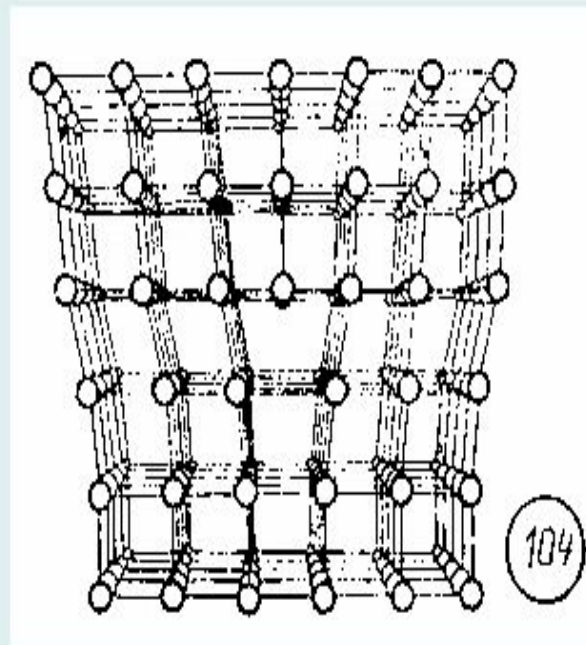
Сравнение реальной прочности кристаллов со значениями, полученными на основании теоретических расчетов, обнаруживает весьма существенные расхождения. Теоретический предел прочности в десятки и даже в сотни раз превосходит значения, получаемые при испытаниях реальных образцов.

Оказалось, что причина расхождения теории и эксперимента заключается в наличии внутренних и поверхностных дефектов в строении кристаллических решеток.

Самые простые дефекты в идеальной кристаллической решетке — точечные дефекты — возникают при замещении собственного атома чужеродным, внедрении атома в пространство между узлами решетки или при отсутствии атома в одном из узлов кристаллической решетки (рис. 103).



Другой вид дефектов — линейные дефекты — возникает при нарушениях в порядке расположения атомных плоскостей в кристаллах. Пример такого нарушения в структуре кристалла представлен на рисунке 104.



Деформация и разрушение кристалла с линейным дефектом облегчаются потому, что вместо одновременного разрыва всех связей между атомами двух плоскостей становится возможным поочередный разрыв небольшого числа связей между атомами с постепенным перемещением дефекта в кристалле.

Для получения кристаллических материалов с высокой прочностью нужно выращивать монокристаллы без дефектов. Это очень сложная задача, и поэтому в практике этот путь пока широкого распространения не получил.

Большинство современных методов упрочнения материалов основано на другом способе. Для упрочнения кристалла с дефектами в решетке можно создать условия, при которых перемещение дефектов в кристалле затрудняется. Препятствием для перемещения дефектов в кристалле могут служить другие дефекты, специально созданные в кристаллической решетке. Так, для увеличения прочности стали применяется легирование стали — введение в расплав небольших добавок хрома, вольфрама и других элементов. Внедрение атомов чужеродных элементов в решетку кристаллов железа затрудняет перемещение линейных дефектов при деформации кристаллов, прочность стали повышается при этом примерно в три раза. Дополнительные дефекты в кристаллической решетке создаются при протяжке, дробеструйной обработке металлов. Эти

ПОВТОРЕНИЕ

## ЗАДАЧА 1

Почему в природе не существует кристаллов шарообразной формы?

*Решение:*

Все монокристаллы анизотропные, т.е. физические свойства зависят от направления его кристаллов. Следовательно. Рост кристаллов не одинаков по разным направлениям внутри кристаллов. Неодинаков по разным направлениям, и поэтому нельзя вырастить кристалл шарообразной формы.

## ЗАДАЧА 2

Почему в таблицах температур плавления различных веществ нет температуры плавления стекла?

*Решение:*

Это связано с тем, что стекло является аморфным веществом, у которого нет определенной температуры плавления

### ЗАДАЧА 3

Какие виды деформации испытывают стены зданий? Тросы подъемного крана? Рельсы на железной дороге? Валы машин? Бумага при разрезании?

**Решение:**

Стены зданий испытывают деформацию здания; тросы подъемного крана испытывают деформацию растяжения; рельсы на железной дороге – деформацию изгиба; валы машин – деформацию кручения; бумага при разрезании испытывает деформацию максимального сдвига или среза.