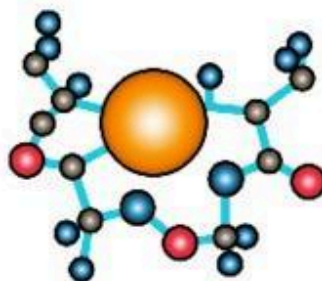
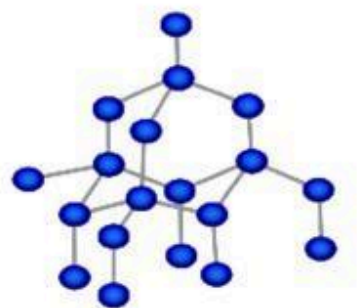


Комплект лекций
по разделу «Молекулярная физика»
по теме

Строение и свойства
твёрдых тел



Задачи:

- Продолжить формирование знаний студентов о строении и свойствах твердых тел;
- Показать роль физики твердого тела в создании материалов с заранее заданными свойствами;
- Показать практическое значение твердых тел.

Содержание:

1. Лекция №1. Строение твердых тел.
2. Лекция №2. Свойства твердых тел. Механические свойства.
3. Лекция №3. Тепловые свойства твердых тел
4. Лекция №4. Тепловое расширение твердых тел

Технические приспособления, созданные человеком, используют различные свойства твёрдого тела. В прошлом твёрдое тело применялось как конструкционный материал и в основе употребления лежали непосредственно ощутимые механические свойства как то твёрдость, масса, пластичность, упругость, хрупкость. В современном мире применение твёрдого тела основывается также на физических свойствах, которые зачастую обнаруживаются только при лабораторных исследованиях.

Большинство окружающих нас твердых тел – вещества в твердом состоянии. Специальная область физики – **физика твёрдого тела** – занимается изучением строения и свойств твердых тел. Эта область физики является ведущей во всех физических исследованиях. Она составляет фундамент современной техники

Мы с вами тоже живем на поверхности твердого тела – земного шара, в домах, построенных из твердых тел. Наше тело, хотя и содержит около 65% воды (мозг – 80%) – тоже твердое тело. Орудия труда, предметы быта, сделаны из твердых тел. Знать свойства твердых тел необходимо.

Твёрдое тело — одно из трех основных агрегатных состояний вещества, отличающееся от других агрегатных состояний (жидкости, газов,) стабильностью формы и характером теплового движения атомов, совершающих малые колебания около положений равновесия.

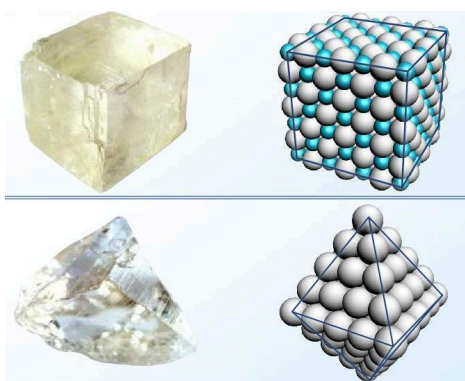
Твёрдыми называют тела, которые сохраняют форму и объём при отсутствии внешнего воздействия.

По характеру относительного расположения частиц, твердые тела делятся на три вида:

1. **кристаллические**
2. **аморфные**
3. **композиты**

Кристаллические тела

Если рассмотреть при помощи лупы или микроскопа крупинки соли, то можно заметить, что они ограничены плоскими гранями. Наличие таких граней – признак нахождения тела в кристаллическом состоянии.



Кристаллы - это твёрдые тела, атомы или молекулы которых занимают определённые, упорядоченные положения в пространстве.

Кристаллические тела, как известно, имеют определенную температуру плавления, неизменную при постоянном давлении. Идеальная форма кристалла имеет вид многогранника. Такой кристалл ограничен плоскими гранями, прямыми ребрами и обладает симметрией. В кристаллах можно найти различные элементы симметрии. Плоскость симметрии, ось симметрии, центр симметрии. На первый взгляд кажется, что число видов симметрии может быть бесконечно большим.

В 1867 г. русский инженер А. В. Гадолин впервые доказал, что кристаллы могут обладать лишь 32 видами симметрии. Убедимся в симметрии кристаллика снега - снежинки.



Частицы в кристалле располагаются так, что они образуют определенную правильную форму, решетку.

Для наглядного представления внутренней структуры кристалла используют его изображение с помощью кристаллической решётки. Различают несколько типов кристаллов, которые определяются характером взаимодействия атомов и молекул, образующих кристалл:

1. *ионные*
2. *атомные*
3. *металлические*
4. *молекулярные*

Ионные кристаллы. В узлах решетки находятся положительно и отрицательно заряженные ионы. Эти кристаллы обладают значительной прочностью. К их числу относится большинство неорганических соединений, например соли.

Атомные кристаллы. Кристаллические решетки образуются путем плотной упаковки атомов, чаще всего одинаковых (при взаимодействии одинаковых атомов ионы не образуются). Эти вещества наиболее прочны, отличаются большой прочностью и тугоплавкостью. Типичные примеры таких кристаллов – алмаз, графит, германий.

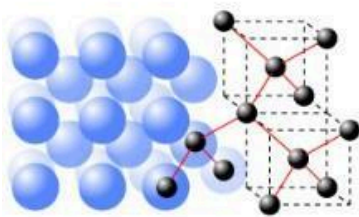
Молекулярные кристаллы. В узлах решетки находятся молекулы вещества, связь между которыми обеспечивается силами молекулярного взаимодействия. Эти кристаллы наименее прочны, плавятся при очень низкой температуре (твердые гелий, водород, азот), легко испаряются (нафталин).

Металлические кристаллы. Во всех узлах решетки расположены положительные ионы металла. Наличие свободных электронов в металле обеспечивает хорошую электропроводность и теплопроводность этих веществ.

В кристаллах атомы расположены правильными рядами, сетками (пространственными решётками) и правильное чередование атомов на одних и тех же расстояниях друг относительно друга повторяется для сколь угодно отдалённых атомов, т. е. существует **дальний порядок**. Основные признаки дальнего порядка — симметрия и закономерность в расположении частиц, повторяющаяся на любом расстоянии от данного атома.

КРИСТАЛЛЫ

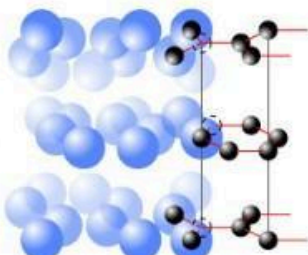
УПАКОВКА АТОМОВ
И ПРОСТРАНСТВЕННАЯ
РЕШЕТКА АЛМАЗА



АЛМАЗ



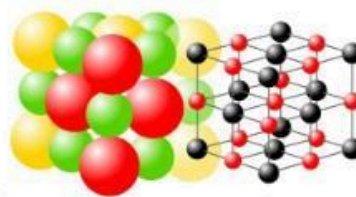
УПАКОВКА АТОМОВ
И ПРОСТРАНСТВЕННАЯ
РЕШЕТКА ГРАФИТА



ГРАФИТ



УПАКОВКА АТОМОВ
И ПРОСТРАНСТВЕННАЯ
РЕШЕТКА
ПОВАРЕННОЙ СОЛИ



ПОВАРЕННАЯ СОЛЬ



Тело, представляющее собой один кристалл, называется **монокристаллом**. (Кварц, алмаз)

Большинство кристаллических тел состоит из множества расположенных беспорядочно мелких кристаллов, которые срослись между собой. Такие тела называются **поликристаллами**. (Металлы, сахар, поваренная соль)



1 мм

Монокристалл



Поликристалл

Существенным свойством монокристалла является **анизотропия** – различие физических (механических, тепловых, электрических, магнитных, оптических) свойств от выбранного в кристалле направления.

Анизотропия механических свойств монокристаллов сказывается прежде всего в том, что их прочность в разных направлениях различна. Монокристаллы легче разрушаются по одним направлениям, чем по другим, и именно поэтому их изломы плоские. Например, кусочек слюды, который является кристаллом, легче расщепить на тонкие пластинки, чем разорвать эти пластинки на части (показать учащимся наглядно). Но монокристаллы в природе встречаются редко, хотя они получили широкое применение в современной технике. Почти все полупроводниковые приборы представляют собой монокристаллы со специально введенными примесями, сообщающие им те или иные свойства.

Поликристаллические тела **изотропны**, т.е. обнаруживают одинаковые свойства по всем направлениям. Это объясняется тем, что кристаллы, из которых состоит поликристаллическое тело, анизотропны, но вследствие их хаотичной ориентации, ни одно из направлений не отличается от других. В тех случаях, когда необходима высокая изотропность материала, он должен быть как можно более мелкокристаллическим.

Кроме кристаллических тел существуют - **аморфные тела**.

Аморфные вещества



Янтарь



Жемчу



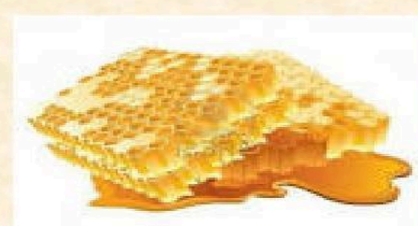
Канифоль



Полиэтилен

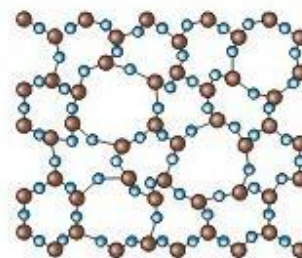
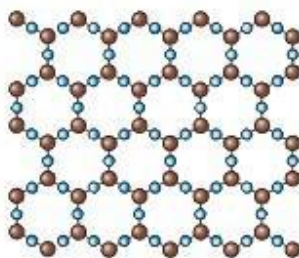


Стекло



Пчелиный воск

Аморфные тела - это *твёрдые тела, где сохраняется только ближний порядок в расположении атомов*. (Кремнезём, смола, стекло, канифоль, сахарный леденец).



Молекулы кварца: а) кристаллического,

б) аморфного.

Аморфные тела изотропны. Признаком аморфного тела является неправильная форма поверхности при изломе. Аморфные тела после длительного промежутка времени все же теряют свою форму под действием силы тяжести. При повышении температуры это происходит быстрее. Аморфное состояние неустойчиво, происходит переход в кристаллическое (стекло мутнеет). Беспорядок в расположении атомов аморфных тел приводит к тому, что среднее расстояние между атомами по разным направлениям одинаково, поэтому они изотропны. Сходство с жидкостями объясняется тем, что атомы и молекулы аморфных тел, подобно молекулам жидкости, имеют время «оседлой жизни» определенной температуры плавления нет, поэтому аморфные тела можно рассматривать как переохлажденные жидкости с очень большой вязкостью. Отсутствие дальнего порядка в расположении атомов приводит к тому, что вещество в аморфном состоянии имеет меньшую плотность, чем в кристаллическом.

Аморфные тела **изотропны**, т.е. обнаруживают одинаковые свойства по всем направлениям.

Жидкие кристаллы.

Жидкие кристаллы - это вещества, обладающие одновременно свойствами как жидкостей (текучесть), так и кристаллов (анизотропия). По структуре ЖК представляют собой жидкости, похожие на желе, состоящие из молекул вытянутой формы, определённым образом упорядоченных во всем объёме этой жидкости. Наиболее характерным свойством ЖК является их способность изменять ориентацию молекул под воздействием электрических полей, что открывает широкие возможности для применения их в промышленности

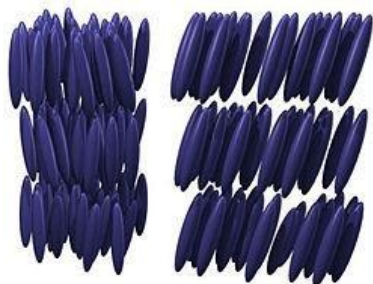


Рис. ЖК.

Применение жидких кристаллов.

Одно из важных направлений использования жидких кристаллов — термография. Подбирая состав жидкокристаллического вещества, создают индикаторы для разных диапазонов температуры и для различных конструкций. Например, жидкие кристаллы в виде плёнки наносят на транзисторы, интегральные схемы и печатные платы электронных схем.

Неисправные элементы — сильно нагретые или холодные, неработающие — сразу заметны по ярким цветовым пятнам. Новые возможности получили врачи: жидкокристаллический индикатор на коже больного быстро диагностирует скрытое воспаление и даже опухоль. С помощью жидких кристаллов обнаруживают пары? вредных химических соединений и опасные для здоровья человека гамма- и ультрафиолетовое излучения. На основе жидких кристаллов созданы измерители давления, детекторы ультразвука. Но самая многообещающая область применения жидкокристаллических веществ — информационная техника. От первых индикаторов, знакомых всем по электронным часам, до цветных телевизоров с жидкокристаллическим экраном размером с почтовую открытку прошло лишь несколько лет. Такие телевизоры дают изображение весьма высокого качества, потребляя ничтожное количество энергии от малогабаритного аккумулятора или батарейки.

Применение жидких кристаллов.

Жидкие кристаллы в бытовой технике



Жидкокристаллический монитор



Цифровой фотоаппарат



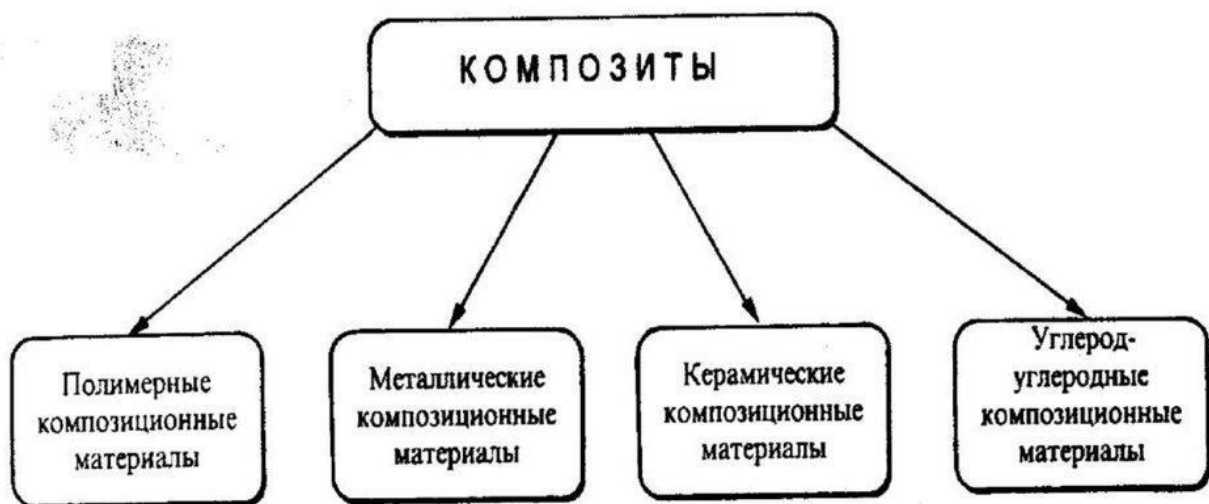
Калькулятор



Композиты

Созданы композиционные материалы, механические свойства которых превосходят естественные материалы. Композиционные материалы (композиты) состоят из матрицы и наполнителей. В качестве матрицы применяются полимерные, металлические, углеродные или керамические материалы.

Классификация композиционных материалов



Наполнители могут состоять из нитевидных кристаллов, волокон или проволоки.

В частности, к композиционным материалам относят железобетон и железографит.

Железобетон - один из основных видов строительных материалов. Он представляет собой сочетание бетона и стальной арматуры.

Железографит - металлокерамический материал, состоящий из железа (95-98%) и графита (2-5%). Из него изготавливают подшипники, втулки для разных машин и механизмов.

Стеклопластик - также композиционный материал, представляющий собой смесь длинных волокон и отвердевшей смолы.

Кости человека и животных представляют собой композиционный материал, состоящий из двух совершенно различных компонентов: коллагена и минерального вещества.

Коллаген – один из главных компонентов соединительной ткани (из него в основном состоят наши сухожилия). Большая часть минерального компонента кости – соли кальция. Атомы кальция составляют 22% от общего количества атомов кости. В остальных тканях тела их количество равно 12-13%. Если кость подержать достаточно долго в 5% растворе уксусной кислоты, то весь минеральный компонент станет эластичным. Кость можно будет свернуть в кольцо, как резиновый жгут.

Свойства твердых тел

Под свойствами твёрдых тел понимается их специфическое поведение при воздействии определенных сил и полей. Их существует пять: **механические, тепловые, электрические, магнитные и оптические.**

Механические свойства

Механические свойства твердых тел обусловлены их молекулярной структурой. Внешнее механическое воздействие на тело (например, температура, давление, конкретная нагрузка, магнитное или электрическое поле) может приводить к изменению его формы и объема, т. е. к **деформации**.

Деформация — изменение формы и размера твердого тела под действием внешних сил.

В зависимости от величины приложенной силы деформация может быть **упругой, пластической или разрушительной**.

Упругая деформация — деформация, исчезающая после прекращения действия внешней силы.

Упруго деформируются резина, сталь, человеческая кожа и сухожилия.

Пластическая деформация — деформация, сохраняющаяся после прекращения действия внешней силы.

Пластичны свинец, алюминий, воск, пластилин, глина.

Виды деформаций.

Деформация растяжения или сжатия - изменение любого линейного размера тела (длины, ширины или высоты).

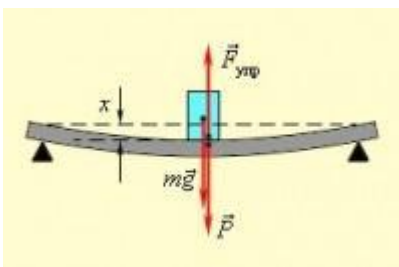
Деформацию растяжения испытывают натянутая тетива лука, буксировочный трос автомобиля при буксировке, сцепные устройства железнодорожных вагонов и др. Когда мы поднимаемся по лестнице, ступеньки под действием нашей силы тяжести деформируются. Это деформация сжатия. Такую же деформацию испытывают фундаменты зданий, колонны, стены, шест, с которым прыгает спортсмен.

Деформация сдвига - перемещение всех слоев твердого тела в одном направлении параллельно некоторой плоскости сдвига.

Представим себе расшатанный табурет, стоящий на полу. Приложим к нему силу по касательной к его поверхности, то есть, попросту потянем верхнюю часть табурета на себя. Все его плоскости, параллельные полу, сместятся друг относительно друга на одинаковый угол.

Такая же деформация происходит, когда лист бумаги разрезается ножницами, пилой с острыми зубьями распиливается деревянный брус и др. Деформации сдвига подвергаются все крепёжные детали, соединяющие поверхности, - винты, гайки и др.

Деформация изгиба



Деформация изгиба - сжатие одних частей тела при растяжении других.

Такая деформация возникает, если концы бруса или стержня лежат на двух опорах. В этом случае на него действуют нагрузки, перпендикулярные его продольной оси.

Деформацию изгиба испытывают все горизонтальные поверхности, положенные на вертикальные опоры. Самый простой пример - линейка, лежащая на двух книгах одинаковой

толщины. Когда мы поставим на неё сверху что-то тяжёлое, она прогнётся. Точно так же прогибается деревянный мостик, перекинутый через ручей, когда мы идём по нему.

Деформация кручения - поворот параллельных сечений образца вокруг некоторой оси под действием внешней силы.



Кручение возникает в теле, если приложить пару сил к его поперечному сечению. В этом случае поперечные сечения будут поворачиваться вокруг оси тела и относительно друг друга. Такую деформацию наблюдают у вращающихся валов машин. Если вручную отжимать (выкручивать) мокрое бельё, то оно также будет подвергаться деформации кручения.

Наблюдения за различными видами деформации показали, что величина деформации тела зависит от механического напряжения, возникающего под действием приложенных к телу сил.

Механическое напряжение.

Механическим напряжением σ называется отношение силы упругости, возникающей в образце, к площади поперечного сечения образца.

$$\sigma = \frac{F_{\text{упр}}}{S}$$

σ - механическое напряжение

$F_{\text{упр}}$ - сила упругости

S - площадь поперечного сечения

$$[\sigma] = 1 \frac{H}{\text{м}^2} \quad [F_{\text{упр}}] = 1H \quad [S] = 1\text{м}^2$$

Эту зависимость описывает закон, открытый в 1660 г. **английским учёным Робертом Гуком**, которого называют одним из отцов экспериментальной физики.

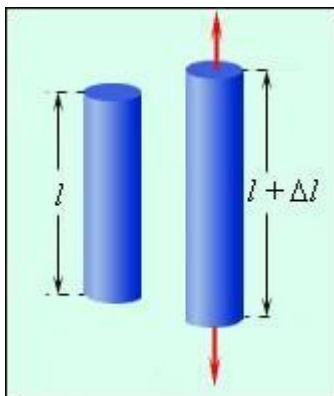
Рассмотрим эту зависимость для деформации растяжения-сжатия.

Возьмем медную проволоку длиной l и площадью поперечного сечения S . Подвесим груз. Под действием внешних сил его длина изменится на величину Δl . Она называется **абсолютным удлинением (сжатием) стержня**.

Для деформации растяжения-сжатия закон Гука имеет вид:

$$F = k\Delta l$$

F - сила, сжимающая или растягивающая стержень; k - коэффициент упругости.



Δl – абсолютное удлинение

l_0 – начальная длина

l – конечная длина

$[l] = 1\text{м}$

$$\Delta l = l - l_0$$

Относительное удлинение ε

ε – относительное удлинение

l_0 – начальная длина

Δl – абсолютное удлинение

$[l] = 1\text{м}$ $[\varepsilon]$ – безразмерная

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

При деформации растяжения $\varepsilon > 0$, при сжатии - $\varepsilon < 0$.

Жесткость образца. Модуль Юнга.

k – жесткость

E – модуль Юнга

S – площадь поперечного сечения

l_0 – длина образца до деформации

$[k] = 1 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ $[E] = 1 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$ $[S] = 1\text{м}^2$ $[l_0] = 1\text{м}$

$$k = \frac{ES}{l_0}$$

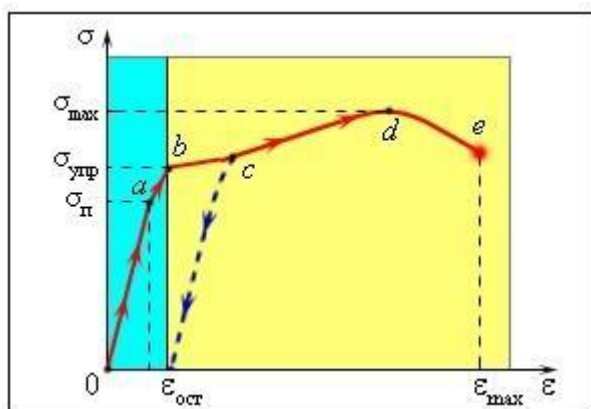
Модуль Юнга характеризует упругие свойства вещества. Это постоянная величина, зависящая только от материала, его физического состояния

Физический смысл модуля Юнга: он численно равен напряжению, которое возникло бы в образце при относительной деформации, равной единице.

Характеризует способность материала сопротивляться деформации растяжения или сжатия.

Значение модуля Юнга табличное.

Зависимость механического напряжения от относительного удлинения является одной из важнейших характеристик механических свойств твердых тел. Графическое изображение этой зависимости называется **диаграммой растяжения**.



Предел пропорциональности. Существует максимальное напряжение (до точки **a** на диаграмме) $\sigma_п$, при котором сохраняется прямая пропорциональность между механическим напряжением и относительным удлинением

σ_n — механическое напряжение

E — модуль Юнга

$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0}$ — относительное удлинение

$$\sigma_n = E \cdot |\varepsilon|$$

$$[\sigma_n] = 1 \frac{H}{M^2} \quad [E] = 1 \frac{H}{M^2} \quad [\varepsilon] - \text{безразмерная}$$

Напряжение σ прямо пропорционально относительной деформации ε (относительному удлинению)

Считается, что сила, стремящаяся удлинить стержень, является положительной ($F > 0$), а сила, укорачивающая его, имеет отрицательное значение ($F < 0$).

Каждое твёрдое тело имеет присущий ему порог деформации, после которой наступает разрушение.

Свойство твёрдого тела сопротивляться разрушению характеризуется прочностью.

При разрушении в твёрдом теле появляются и распространяются трещины, которые в конце концов приводят к разлому.

Предел упругости — максимальное напряжение в материале, при котором деформация еще является упругой. (точка **b** на диаграмме)

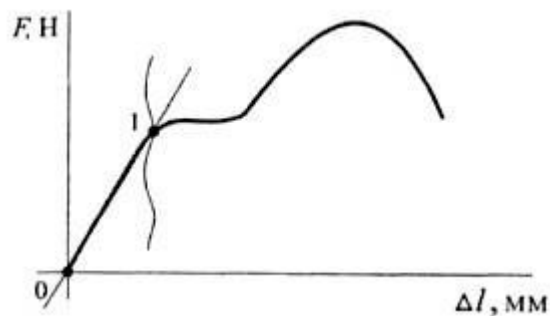
При дальнейшем увеличении деформации материал разрушается.

При снятии внешней силы, деформирующей образец, размеры и формы возвращаются к исходным. При дальнейшем воздействии образец после снятия напряжения уже не восстанавливает свои первоначальные размеры и у тела сохраняется остаточная деформация. Такие деформации называются пластическими (участки bc, cd и de). На участке bc деформация происходит почти без увеличения напряжения. Это явление называется **текучестью материала**. В точке **d** достигается наибольшее напряжение, которое способен выдержать материал без разрушения (**предел прочности**). В точке **e** происходит разрушение материала.

Материалы, у которых область текучести незначительна, называются хрупкими (стекло, фарфор, чугун).

Предел прочности — максимальное напряжение, возникающее в теле до его разрушения.

Механические свойства твердого вещества можно отобразить и на диаграмме $F_{\text{упр}}(\Delta l)$



Закон Гука справедлив на участке 01.

Напряжение, при котором материал разрушается называется пределом прочности

При проектировании зданий нельзя допускать, чтобы механическое напряжение в элементах конструкций достигали предельных значений. Для этого вводится так называемый запас прочности или коэффициент безопасности

n – коэффициент прочности (безопасности)

$\sigma_{\text{пр}}$ – предел прочности, при котором материал разрушается

$\sigma_{\text{д}}$ – допустимое максимальное напряжение

$$n = \frac{\sigma_{\text{пр}}}{\sigma_{\text{д}}}$$

$$[\sigma] = 1 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \quad [n] - \text{безразмерная}$$

Значения пределов прочности веществ при различных видах деформации являются табличными.

При проектировании и эксплуатации различных механизмов, технических объектов, зданий, мостов и других инженерных сооружений очень важно знать величину деформации материалов.

Лекция №3

Тепловые свойства твердых тел

Тепловые свойства можно подразделить на *кристаллизацию и плавление* твердого тела.

Кристаллизация твердого тела

Рассмотрим фазовый переход *жидкость — твердое*.

Плотно упакованные молекулы жидкости в основном колеблются относительно положений равновесия. Однако некоторые (наиболее быстрые) молекулы обладают достаточной кинетической энергией для перескока в соседнее положение равновесия. Поэтому относительное положение молекул в жидкости оказывается упорядоченным лишь в пределах двух-трех слоев (*ближний порядок*).

Молекулы жидкости, движущиеся хаотически и имеющие значительную кинетическую энергию, могут проходить соседние положения равновесия, не задерживаясь в них. Движение таких молекул подобно шарик, с большой скоростью проскакивающему углубления.

Кристаллизация (затвердевание) — фазовый переход вещества из жидкого состояния в кристаллическое (твердое).

Кристаллизация возникает при охлаждении жидкости. Сжатия жидкости при кристаллизации не происходит, так как молекулы в жидкости упакованы так же плотно, как и в твердом теле.

При охлаждении жидкости из-за уменьшения кинетической энергии молекулы начинают задерживаться около положения устойчивого равновесия. Так же колеблется шарик в достаточно глубокой яме и не может из нее выбраться.

Именно так происходит кристаллизация жидкости: при определенной температуре все молекулы оказываются в положении устойчивого равновесия, их относительное расположение становится упорядоченным.

При кристаллизации жидкости происходит резкий, скачкообразный переход от неупорядоченного расположения частиц к упорядоченному.

- *Кристаллизация всегда сопровождается выделением энергии, т. е. от вещества необходимо отводить теплоту;*
- *При этом внутренняя энергия вещества уменьшается;*
- *Кристаллизация происходит только при определенной температуре, совпадающей с температурой плавления.*
- *Пока происходит кристаллизация, температура вещества не изменяется.*

Что надо сделать, что вещество массой m кристаллизовалось? Сначала нужно его охладить до температуры плавления $t_{пл}$, отведя количество теплоты $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$, где c — удельная

теплоемкость вещества. Затем необходимо отвести количество теплоты $Q = \lambda \cdot m$, где λ – **удельная теплота плавления вещества**. Кристаллизация будет происходить при постоянной температуре, равной температуре плавления.

Плавление твердого тела

Плавление твердого тела — процесс, обратный кристаллизации.

Плавление — фазовый переход вещества из кристаллического (твердого) состояния в жидкое.

При повышении температуры твердого тела возрастает кинетическая энергия колеблющихся молекул и соответственно амплитуда их колебаний. При определенной температуре, называемой температурой плавления, кинетическая энергия частиц становится достаточной для их перехода в соседнее положение.

При плавлении кристаллическая решетка разрушается. Из-за упорядоченного взаимного расположения молекулы в твердом теле связаны между собой примерно одинаковыми силами, поэтому разрушение связей происходит практически одновременно. Плавление твердого тела происходит при той же температуре, при которой это же вещество отвердевает.

Подводимое извне количество теплоты идет на разрушение кристаллической решетки, т. е. на увеличение потенциальной энергии молекул. Средняя кинетическая энергия молекул при плавлении не изменяется. Строгое постоянство температуры плавления льда позволило выбрать ее в качестве нуля отсчета температурной шкалы Цельсия.

- **Этот фазовый переход всегда сопровождается поглощением энергии, т. е. к веществу необходимо подводить теплоту.**
- **При этом внутренняя энергия вещества увеличивается**
- **Плавление происходит только при определенной температуре, называемой температурой плавления.**
- **Каждое вещество имеет свою температуру плавления. Например, у льда $t_{пл} = 0^\circ\text{C}$.**
- **Пока происходит плавление, температура вещества не изменяется.**

Что надо сделать, что расплавить вещество массой m ?

Сначала нужно его нагреть до температуры плавления $t_{пл}$, сообщив количество теплоты $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$, где c – **удельная теплоемкость вещества**.

Затем необходимо подвести количество теплоты $Q = \lambda \cdot m$, где λ – **удельная теплота плавления вещества**.

Само плавление будет происходить при постоянной температуре, равной температуре плавления.

Лекция №4

Тепловое расширение твердых тел

Термическим расширением называется изменение размеров и объёма тела под воздействием температуры.

При изменении температуры изменяются размеры твёрдых тел. Расширение под воздействием температуры характеризуется **коэффициентом линейного термического расширения**.

Изменение линейных размеров тела описывается формулой: $l = l_0(1 + \alpha \cdot \Delta T)$, где

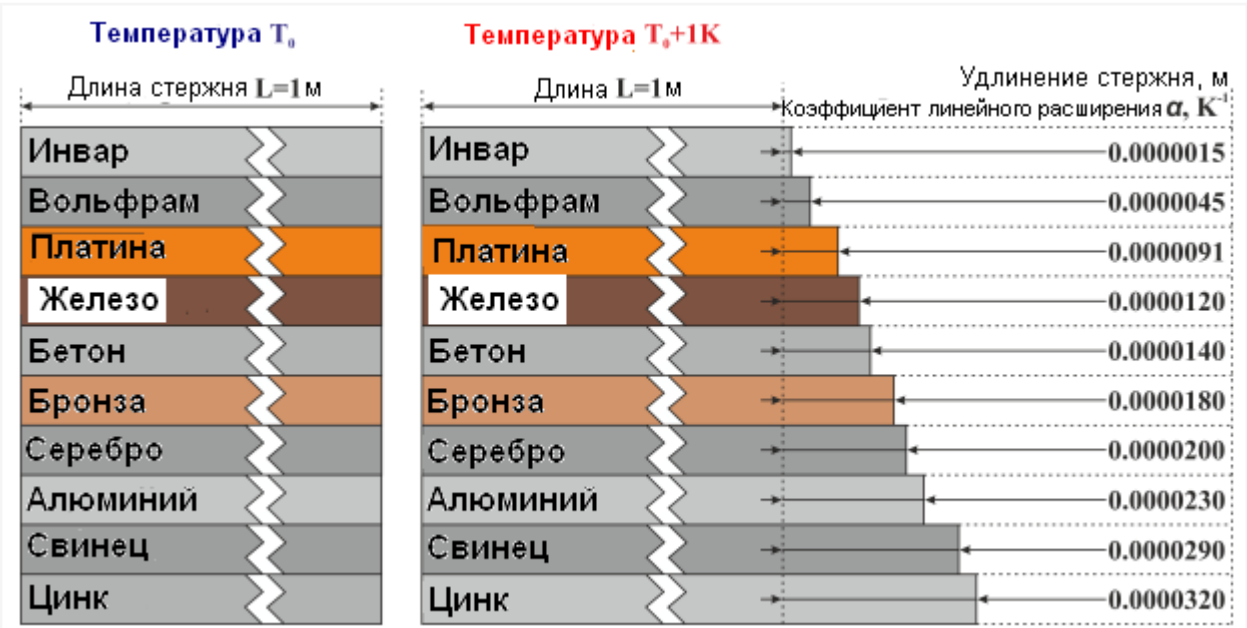
l — длина тела;

l_0 — первоначальная длина тела;

α — коэффициент линейного термического расширения;

ΔT — разница температур.

Коэффициент линейного термического расширения показывает, на какую часть первоначальной длины или ширины изменится размер тела, если его температура повысится на 1 градус.



Если рассматривать стержень твёрдого вещества длиной 1 метр, то при повышении температуры на один градус длина стержня изменится на такое число метров, которое равно коэффициенту линейного расширения.

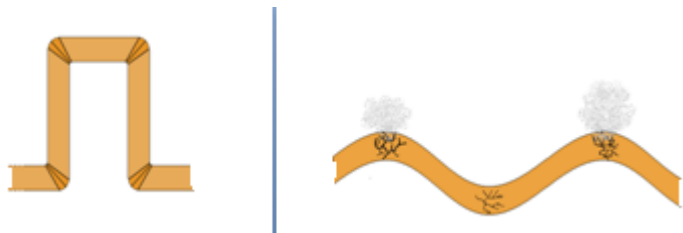
Пример:

10 км железнодорожного пути при увеличении температуры воздуха на 9 градусов (например, от -5 до $+4$), удлинятся на $10000 \cdot 0,000012 \cdot 9 = 1,08$ метр. По этой причине между участками рельсов оставляют промежутки.



На этом рисунке видно, что происходит в жаркую погоду, если между участками рельсов оставлены неверные промежутки.

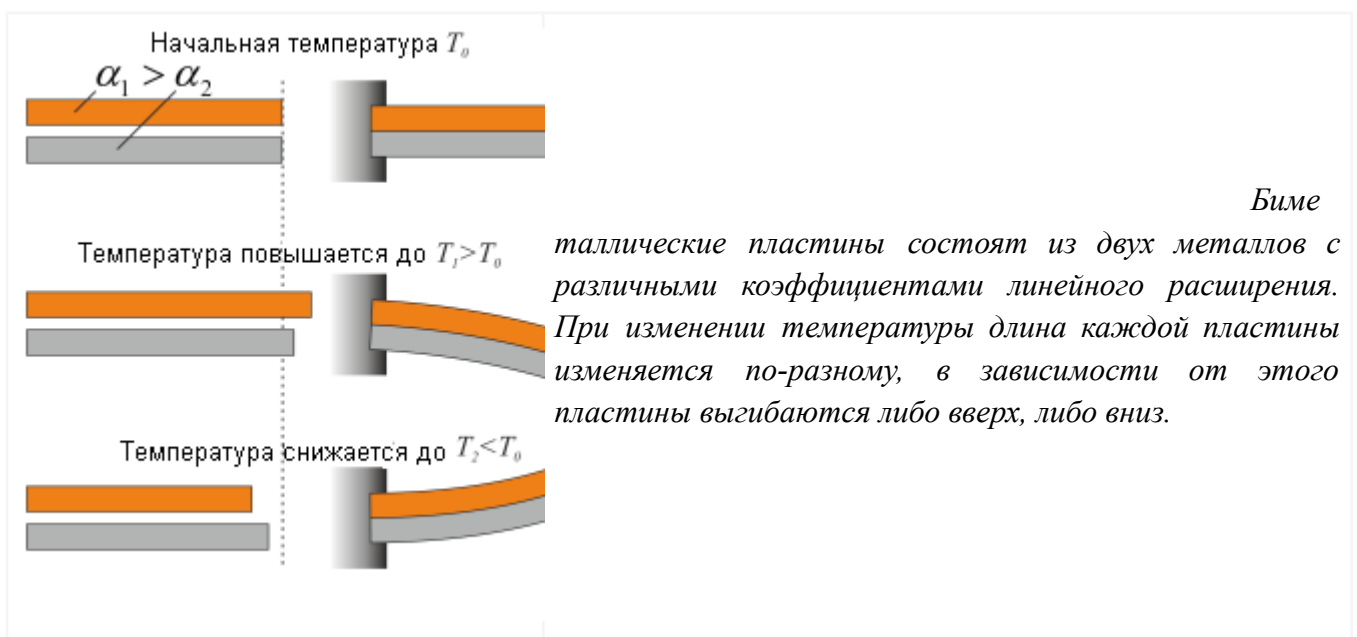
Термическое расширение надо учитывать и в трубопроводах, там используют **компенсаторы** — изогнутые трубы, которые при изменении температуры воздуха при необходимости могут сгибаться. На рисунке видно, что произойдёт, если не будет компенсатора.



Инженерам, проектирующим мосты, оборудование, здания, которые подвержены изменениям температуры, необходимо знать, какие материалы можно соединять, чтобы не образовались трещины.

Электрикам, которые протягивают линии электропередачи, необходимо знать, каким изменениям температуры будут подвержены провода. Если летом провода натянuty, то зимой они оборвутся.

При термическом расширении металлов используют автоматические выключатели тепловых приборов. Этот выключатель состоит из двух плотно соединённых пластин различных металлов (с различными термическими коэффициентами). **Биметаллические пластины** под воздействием температуры сгибаются или выпрямляются, замыкая или размыкая электрическую цепь.



С изменением линейных размеров изменяется также и объём тела. Изменение объёма тела описывается формулой, похожей на формулу линейного расширения, только вместо коэффициента линейного термического расширения используется **коэффициент объёмного термического расширения**.

Изменение объёма тела под воздействием температуры описывается формулой: $V = V_0(1 + \beta \cdot \Delta T)$, где

V — объём тела;

V_0 — первоначальный объём тела;

β — коэффициент объёмного термического расширения;

ΔT — разница температур.

Коэффициент объёмного термического расширения показывает, на какую часть первоначального объёма изменится объём тела после повышения температуры на 1 градус.

Таким образом, количественно тепловое расширение характеризуется коэффициентами линейного и объёмного расширения, которые определяются следующим образом. Пусть тело длиной l при изменении температуры на 1 градус изменяет свою длину. Коэффициент линейного расширения определяется из соотношения

$$\alpha = \frac{1}{l} \frac{\Delta l}{\Delta T},$$

т. е. коэффициент линейного расширения равен относительному изменению длины при изменении температуры на один градус. Точно так же коэффициент объемного расширения определяется формулой

$$\beta = \frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta T},$$

т. е. коэффициент равен относительному изменению объема отнесенному к одному градусу. Из этих формул следует, что длина и объем при некоторой температуре, отличающейся от начальной температуры, выражаются формулами:

$$l_T = l_0(1 + \alpha \Delta T) \quad \text{и} \quad V_T = V_0(1 + \beta \Delta T),$$

где начальные длина и объем тела.

Вследствие анизотропии кристаллов коэффициент линейного расширения α может быть различным в разных направлениях. Это означает, что если из данного кристалла выточить шар, то после его нагревания он потеряет свою сферическую форму. Можно показать, что в самом общем случае такой шар при нагревании превращается в трехосный [эллипсоид](#), оси которого связаны с кристаллографическими осями кристалла.

Коэффициенты [теплового расширения](#) по трем осям этого эллипсоида называются главными коэффициентами расширения кристалла.

Если их обозначить соответственно через α то коэффициент объемного расширения кристалла

$$\beta = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3.$$

Для кристаллов с кубической симметрией, так же как и для [изотропных тел](#),

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha \quad \text{и} \quad \beta = 3\alpha.$$

Шар, выточенный из таких тел, остается шаром и после нагревания (разумеется, большего диаметра).

В некоторых кристаллах (например, гексагональных)

$$\alpha_1 = \alpha_2 \quad \text{и} \quad \beta = 2\alpha_1 + \alpha_3.$$

Коэффициенты линейного и объемного расширения практически остаются постоянными, если интервалы температур, в которых они измеряются, малы, а сами температуры высокие. Вообще же коэффициенты [теплового расширения](#) зависят от температуры и притом так же, как [теплоемкость](#), т. е. при низких температурах коэффициенты уменьшаются с понижением температуры пропорционально кубу температуры, стремясь, как и теплоемкость, к нулю при абсолютном нуле. Это неудивительно, так как и [теплоемкость](#), и [тепловое расширение](#) связаны с колебаниями решетки: теплоемкость дает количество теплоты, необходимое для увеличения средней энергии тепловых колебаний атомов, зависящей от амплитуды колебаний, коэффициент же теплового расширения непосредственно связан со средними расстояниями между атомами, которые тоже зависят от амплитуды атомных колебаний.

Тепловое расширение тел нужно учитывать при конструировании многих сооружений. Необходимо принимать меры для того, чтобы тела могли свободно расширяться или сжиматься при изменении температуры.

Нельзя, например, туго натягивать телеграфные провода, а также провода линий электропередачи (ЛЭП) между опорами. Летом провисание проводов заметно больше, чем зимой.

Металлические паропроводы, а также трубы водяного отопления приходится снабжать изгибами (компенсаторами) в виде петель (рис. 9.6).



Рис. 9.6

Внутренние напряжения могут возникать при неравномерном нагревании однородного тела. Например, стеклянная бутылка или стакан из толстого стекла могут лопнуть, если налить в них горячей воды. В первую очередь происходит нагрев внутренних частей сосуда, соприкасающихся с горячей водой. Они расширяются и оказывают сильное давление на внешние холодные части. Поэтому может произойти разрушение сосуда. Тонкий же стакан не лопается при наливании в него горячей воды, так как его внутренняя и внешняя части одинаково быстро прогреваются.

Очень малый температурный коэффициент линейного расширения имеет кварцевое стекло. Такое стекло выдерживает, не трескаясь, неравномерное нагревание или охлаждение. Например, в раскаленную докрасна колбочку из кварцевого стекла можно вливать холодную воду, тогда как колба из обычного стекла при таком опыте лопается.

Разнородные материалы, подвергающиеся периодическому нагреванию и охлаждению, следует соединять вместе только тогда, когда их размеры при изменении температуры меняются одинаково. Это особенно важно при больших размерах изделий. Так, например, железо и бетон при нагревании расширяются одинаково. Именно поэтому широкое распространение получил железобетон — затвердевший бетонный раствор, залитый в стальную решетку — арматуру (рис. 9.7). Если бы железо и бетон расширялись по-разному, то в результате суточных и годовых колебаний температуры железобетонное сооружение вскоре бы разрушилось.

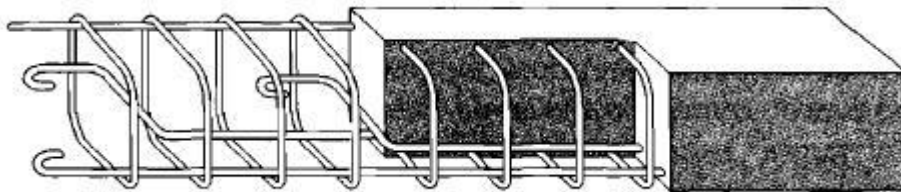


Рис. 9.7

Еще несколько примеров. Металлические проводники, впаянные в стеклянные баллоны электроламп и радиоламп, делают из сплава (железа и никеля), имеющего такой же коэффициент расширения, как и стекло, иначе при нагревании металла стекло треснуло бы. Эмаль, которой покрывают посуду, и металл, из которого эта посуда изготавливается, должны иметь одинаковый коэффициент линейного расширения. В противном случае эмаль будет лопаться при нагревании и охлаждении покрытой ею посуды.

Значительные силы могут развиваться и жидкостью, если нагревать ее в замкнутом сосуде, не позволяющем жидкости расширяться. Эти силы могут привести к разрушению сосудов, в которых содержится жидкость. Поэтому с этим свойством жидкости тоже приходится считаться. Например, системы труб водяного отопления всегда снабжаются расширительным баком, присоединенным к верхней части системы и сообщающимся с атмосферой. При нагревании воды в системе труб небольшая часть воды переходит в расширительный бак, и этим исключается напряженное состояние воды и труб. По этой же причине в силовом трансформаторе с масляным охлаждением наверху имеется расширительный бак для масла. При повышении температуры уровень масла в баке повышается, при охлаждении масла — понижается.

Использование теплового расширения в технике

Тепловое расширение тел находит широкое применение в технике. Приведем лишь несколько примеров. Две разнородные пластинки (например, железная и медная), сваренные вместе, образуют так называемую биметаллическую пластинку (рис. 9.8).



Рис. 9.8

При нагревании такие пластинки изгибаются вследствие того, что одна расширяется сильнее другой. Та из полосок (медная), которая расширяется больше, оказывается всегда с выпуклой стороны (рис. 9.9). Это свойство биметаллических пластинок широко используется для измерения температуры и ее регулирования.



Рис. 9.9

Терморегулятор

На рисунке 9.10 схематически изображено устройство одного из типов регуляторов температуры. Биметаллическая дуга 1 при изменении температуры изменяет свою кривизну. К ее свободному концу прикреплена металлическая пластинка 2, которая при раскручивании дуги прикасается к контакту 3, а при закручивании отходит от него. Если, например, контакт 3 и пластинка 2 присоединены к концам 4, 5 электрической цепи, содержащей нагревательный прибор, то при соприкосновении контакта и пластинки электрическая цепь замкнется: прибор начнет нагревать помещение. Биметаллическая дуга 1 при нагревании начнет закручиваться и при определенной температуре отсоединит пластинку 2 от контакта 3: цепь разорвется, нагревание прекратится.

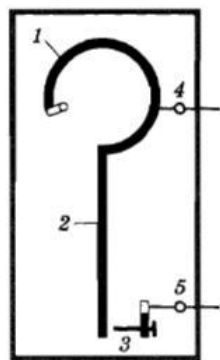


Рис. 9.10

При охлаждении дуга 1, раскручиваясь, снова заставит включиться нагревательный прибор. Таким образом, температура помещения будет поддерживаться на данном уровне. Подобный терморегулятор устанавливают в инкубаторах, где требуется поддерживать температуру постоянной. В быту терморегуляторы установлены в холодильниках, электроутюгах и т. д. Обод (бандаж) колеса железнодорожного вагона изготавливают из стали, остальную часть колеса делают из более дешевого металла — чугуна. Бандажи на колеса надевают в нагретом состоянии. После охлаждения они сжимаются и поэтому держатся прочно.

Также в нагретом состоянии надевают шкивы, подшипники на валы, железные обручи на деревянные бочки и т. д. Свойство жидкостей расширяться при нагревании и сжиматься при охлаждении используется в приборах, служащих для измерения температуры — термометрах. В качестве жидкостей для изготовления термометров применяют ртуть, спирт и др.

При расширении или сжатии тел возникают огромные механические напряжения, если другие тела препятствуют изменению размеров. В технике используются биметаллические пластинки, изменяющие свою форму при нагревании.

Виды и причины сварочных деформаций

Сварка обеспечивает самое прочное и надежное соединение, если проведена правильно. Однако при нарушении технологии в конструкции возникают напряжения и деформации, вызванные сварочным процессом. Искажается форма и размеры изделия, в результате чего оно не может выполнять свои функции.

Сварочное напряжение определяют как силу, действующую на единицу площади изделия. Оно может быть вызвано растягивающим, изгибающим, крутящим, сжимающим или срезающим усилием.

Эти силы достигают таких величин, что в процессе эксплуатации напряжения и деформации в отдельных деталях приводят к разрушению всей конструкции. Кроме этого происходит снижение антикоррозионных свойств, меняются геометрические размеры и жесткость конструкции.

Напряжения и деформации бывают временными и остаточными. Какие сварочные деформации называют временными, а какие остаточными определяется просто. Временные появляются во время сваривания деталей, вторые появляются и остаются после окончания сварки и охлаждения конструкции.

Главные причины возникновения напряжений и сварочных деформаций такие:

- неоднородный нагрев металлических заготовок;
- усадочные изменения сплава в сварном шве;
- фазовые изменения, возникающие при переходе расплавленного металла из одного состояния в другое.

Одним из свойств металлов является их способность расширяться при повышении температуры и сжиматься при охлаждении. При плавлении в области сварочного соединения появляется неоднородная термозона.

Она вызывает напряжения сжимающего или растягивающего свойства. Если эти напряжения превышают предел текучести металла, то происходит изменение формы изделия, возникают остаточные деформации.

Разновидности деформаций зависят от того, в каких объемах они проявляются. Выделяют три рода. Деформации первого рода действуют в макрообъемах, деформации второго рода происходят в пределах кристаллических зерен, а третьего рода происходят в кристаллической решетке металла.

Деформации и напряжения при сварке возникают и при кристаллизации сварного шва, когда происходит усадка жидкого металла. Объем остывающего жидкого металла уменьшается, это вызывает напряжения внутри металла. Параллельно и перпендикулярно оси сварочного шва формируются напряжения, которые вызывают изменение формы изделия. Продольные силы вызывают изменения длины сварного шва, а поперечные приводят к угловым деформациям.

При превышении определенных предельных температур при сваривании углеродистых и легированных сталей происходит их структурное превращение. У них появляется другой удельный объем и изменяется коэффициент линейного расширения, что приводит к огромным сварочным напряжениям.

Самые большие из них возникают в легированных сталях. В них образуются закалочные структуры, которые при охлаждении не возвращаются к прежней структуре металла, как в большинстве случаев, а сохраняют колоссальные напряжения могущие привести к разрушению сварного шва.

Для этих сплавов разрабатываются специальные технологические процессы, снижающие остаточные напряжения и деформации.

Литература:

В.Ф. Дмитриева, Физика для профессий и специальностей технического профиля. Издательский центр «Академия»

П.И. Самойленко, А.В. Сергеев, Физика. Издательский центр «Академия»

Интернет-ресурс.