

**Факультет прикладной математики и механики
Кафедра «Динамика и прочность машин»**

Е.В. Кузнецова

**Профильные разделы естествознания
Введение в механику материалов и конструкций**

Учебно-методическое пособие

Пермь 2013

УДК 519.3
ББК 30.121

Рецензент: кандидат физико-математических наук, профессор кафедры «Динамика и прочность машин» *А.А. Лежнева* (ПНИПУ).

Кузнецова Е.В.

Механика материалов и конструкций: Учебно-методическое пособие для студентов очного и заочного обучения специальностей «Динамика и прочность машин», «Компьютерная механика», «Компьютерная биомеханика», «Машиностроение» «обработка металлов давлением». – Пермь: ПНИПУ, 2013. – 26 с.

Приведены общие сведения, понятия, определения, характеристики, используемые в механике, напряженно-деформированного состояния деталей конструкций и механических характеристик материалов. Экспериментальные данные по механическим характеристикам металлов и сплавов.

Пособие предназначено для студентов, изучающих курсы: «Профильные разделы естествознания», «Экспериментальная механика», «Материаловедение», «Конструкционная прочность», а также специалистов по проблемам механики в области материалов и конструкций.

© «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», 2013

ВВЕДЕНИЕ

Квалифицированные специалисты в области технических наук должны исследовать надежность, ресурс и безопасность машин, конструкций и приборов, создавать и развивать аналитические и численные методы расчета новой техники и технологии из современных конструкционных материалов с применением теоретических, численных и экспериментальных методов. При этом необходимо изучение создание и использование сложных математических моделей механических систем и процессов, отражающих свойства реальных объектов природы и техники. Эффективность применения таких моделей в решающей степени зависит от достоверности исходных данных о механических характеристиках материалов и конструктивных элементов систем и воздействиях, которым эти системы подвергаются. Единственный источник таких данных – эксперимент. Сложные структуры и необычные свойства материалов, случайные процессы в реальных условиях эксплуатации – все это предъявляет высокие требования к методам и технике эксперимента, а также и к необходимой точности результатов экспериментальных исследований. Эксперимент, по сути, остается единственным реальным методом проверки адекватности сложных математических моделей современной механики.

На кафедре «Динамика и прочность машин» ПНИПУ существует достаточно большая лабораторная база для проведения экспериментальных исследований различного рода: механических и физических свойств материала, напряженно-деформированного состояния детали, динамических характеристик системы, а также исследование феноменов упругости, пластичности и ползучести и усталостной прочности.

Целью данного учебно-методического пособия является изложение основополагающих понятий и определений механики материалов и конструкций, которые являются необходимыми для дальнейшего изучения науки о прочности долговечности машин и механизмов в технике и технологии.

Основные понятия и определения в механике материалов и конструкций

Механика материалов и конструкций- это наука о расчетах машин, механизмов и конструкций и их элементов на прочность жесткость и устойчивость при гарантированной их долговечности.

Задачами механики являются:

- определение механических, физических и химических характеристик материала, необходимых для построения теорий расчетов на прочность;
- изучение разрушения материала под действием приложенных сил и влияния различных внешних факторов на характер разрушения
- сопоставление полученных экспериментальных данных с расчетными значениями напряженно-деформированного состояния в элементах конструкции, подверженных действию внешних нагрузок, полученными методами сопромата, теории упругости, теорий пластичности и ползучести, строительной механики, динамики машин и т.д.

Прочность – это способность конструкции сопротивляться, не разрушаясь действию внешних нагрузок и других воздействий (температуры, агрессивной окружающей среды, смещению опорных устройств и т.п.)

Жесткостью обладает конструкция (материал), когда изменение формы и размеров при нагружении ее элементов настолько незначительно, что не приводит к нарушению эксплуатационных функций.

Устойчивость: если малые внешние воздействия приводят к малым и исчезающим после снятия воздействия отклонениям от первоначального положения равновесия, то положение называется устойчивостью.

Необходимо отметить, что при решении инженерных задач, достаточно сложно учесть все разнообразие факторов конфигурацию объектов, темп и вид нагрузок, влияние случайных факторов, изменение окружающей среды, поэтому для получения результатов и решения сложных технических и технологических задач применяют некоторые известные теоретические методы научного познания, упрощая различные условия, для решения задач.

Теоретические методы научного познания:

Аналогия – на основе сходства объектов по одним признакам сделать вывод об их сходстве по другим;

Моделирование – это оперирование объектами, которые являются аналогом других, по каким-то причинам недоступными для манипуляции;

Абстрагирование – мыслительный прием отвлечения от несущественных свойств и отношений объекта или явления и сосредоточение внимания на существенных;

Идеализация – мысленная процедура образования абстрактных объектов, не существующих в действительности.

Идеальные объекты – это не просто фикции – они выражают реальные связи и отношения, существующие в действительности и представляют собой предельные случаи этих связей и отношений, служат средством их анализа.

Для достижения результата при решении инженерной задачи необходимо предварительно определить самые основные **модели: материала, формы, нагружения, закрепления и разрушения.**

Модели материала

Структура и свойства различных материалов, используемых в технике многообразны, поэтому применяют моделирование материалов

Например, в предположение о **сплошности** материала – пренебрегаем атомно-молекулярной и кристаллической структурой, следовательно, напряжения деформации и перемещения являются непрерывными функциями координат, а все процессы можно описать с помощью математического аппарата.

Гипотеза об **однородности** материала – свойства материала во всех точках одинаковы. В этом случае мы не учитываем, что в материале могут быть дефекты, различные примеси, изменение плотности и т.д.

Гипотезы о направлении свойств материала:

Материал считаем **изотропным**, если свойства материала для каждой точки во всех направлениях одинаковы. В технике принято считать, что металлы, стали и сплавы обладают свойством изотропии (квазиизотропны), так как сопротивляются разным нагрузкам практически одинаково.

Противоположным изотропии свойством называют **анизотропию** – если для каждой точки материала свойства во всех направлениях различны.

Материал, свойства которого различны в двух взаимно-перпендикулярных направлениях, в механике принято считать **ортотропным**. Ярким представителем

такого материала является – древесина, так ее структура волокнистая и прочность на растяжение значительно выше, чем на сжатие или изгиб.

Для конструкционных материалов наиболее распространенными также являются *модели упругости и пластичности*.

Упругость – это свойство тела изменять форму и размеры под действием внешних нагрузок и восстанавливать исходную конфигурацию при снятии нагрузок. Примеры: рессоры, резина, пружины

Пластичность – это положительное свойство материала изменять, не разрушаясь, форму и размеры под действием значительных внешних нагрузок. Примеры: сталь, пластилин.

Хрупкость – это отрицательное свойство материалов, но, тем не менее, такие материалы как чугун, камень, бетон, кирпич, стекло находят широкое применение в строительстве, так легко разрушаясь от удара или при растяжении, они выдерживают большие нагрузки на сжатие.

Твердость – это способность материала сопротивляться внедрению в него другого более твердого тела. Пример: сталь тверже дерева – нож, алмаз тверже стекла - стеклорез

Модели разрушения

Модели разрушения – это уравнения или условия, связывающие параметры работоспособности состояния элемента конструкции в момент разрушения с параметрами, обеспечивающими прочность. Эти условия называются критериями прочности, нарушение которых способствует переходу конструкции в предельное состояние, при этом ее дальнейшее применение недопустимо и нецелесообразно.

По характеру разрушение может быть хрупким – по принципу отрыва частиц или скола и вязким - с предварительными пластическими деформациями; статическим, длительным статическим, малоцикловым и усталостным; зависеть от величины и от длительности воздействия;

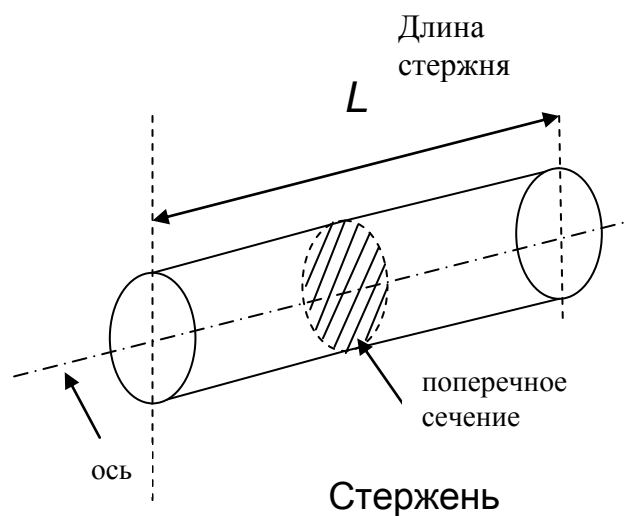
Деформированное состояние, связь между перемещениями и деформациями устанавливается из геометрии (кинематики) и также не зависит от физических свойств материала.

Модели формы

– это схематизация конструкций и объектов по геометрическим признакам.

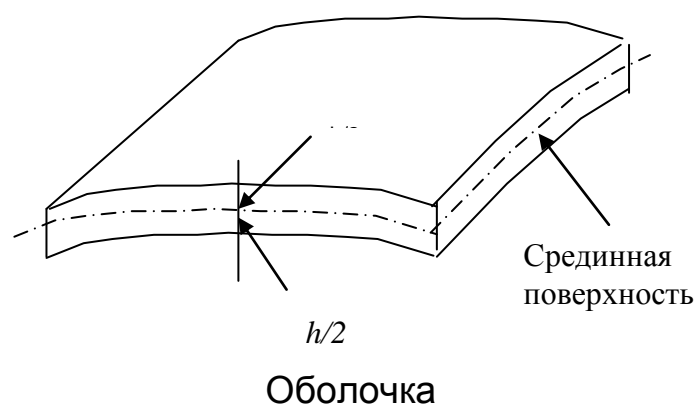
Стержни: Детали и элементы конструкций машин и механизмов у которых один размер – длина много больше площади поперечного сечения. Стержень образуется движением в пространстве плоской фигуры центральная точка которой скользит вдоль некоторой оси стержня, а сама фигура перпендикулярна к оси, т.е совокупность поперечных сечений.

К стержням можно отнести длинные балки и трубы, рельсы, колонны



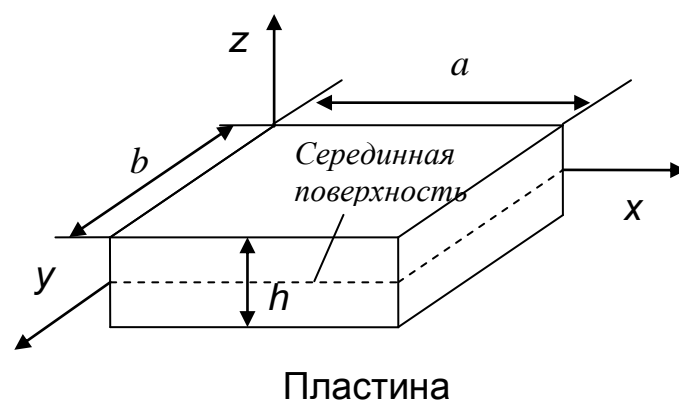
Оболочки: Детали и элементы конструкций у которых один размер (толщина h), на много меньше габаритных размеров. Характеризуется срединной поверхностью – геометрическим местом точек, равноудаленных от образующих оболочку поверхностей.

К оболочкам можно отнести – тонкостенные трубы большого диаметра, купола, фюзеляж самолета, корпус космической ракеты, шифер – все это оболочки сложной формы.



Пластины: Детали и элементы конструкций у которых один размер (толщина h), на много меньше габаритных размеров, а срединная поверхность является плоскостью.

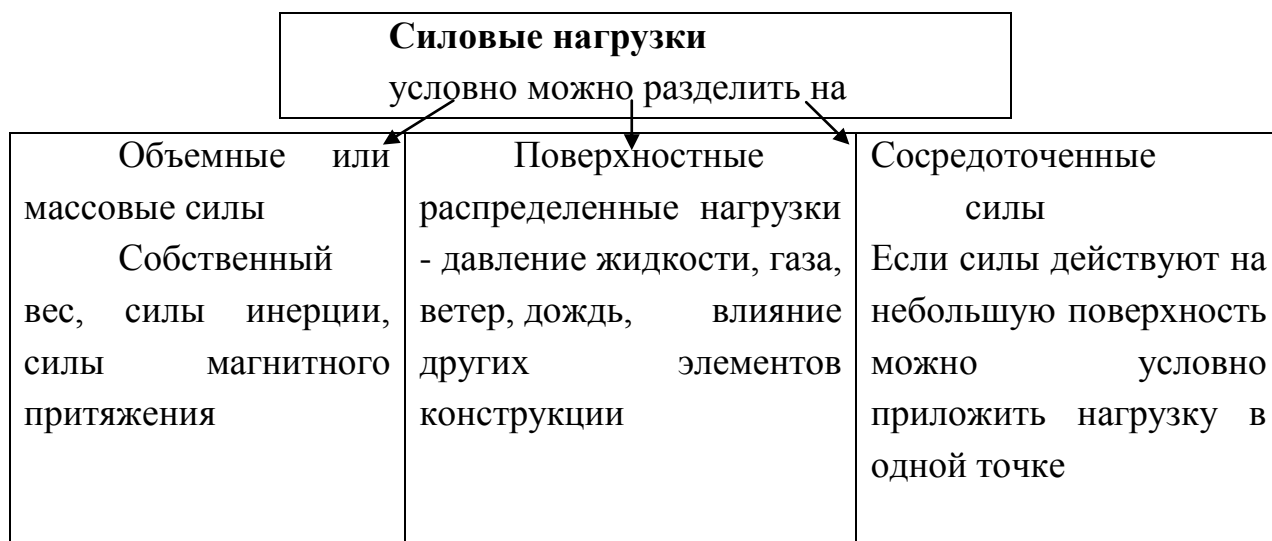
Пластинами считаются все строительные перекрытия, различные плиты с большой площадью образующих поверхностей и малой толщины.



Массивные тела: все три габаритных размера имеют одинаковый порядок. Резервуары, толстостенные цистерны, оборудование для производства металлов, прокатные станы, валки, толстостенные короткие трубы.

Модели нагружения

Модели нагружения – это схематизация нагрузок по координатам, по времени, по воздействию внешних полей и сред.

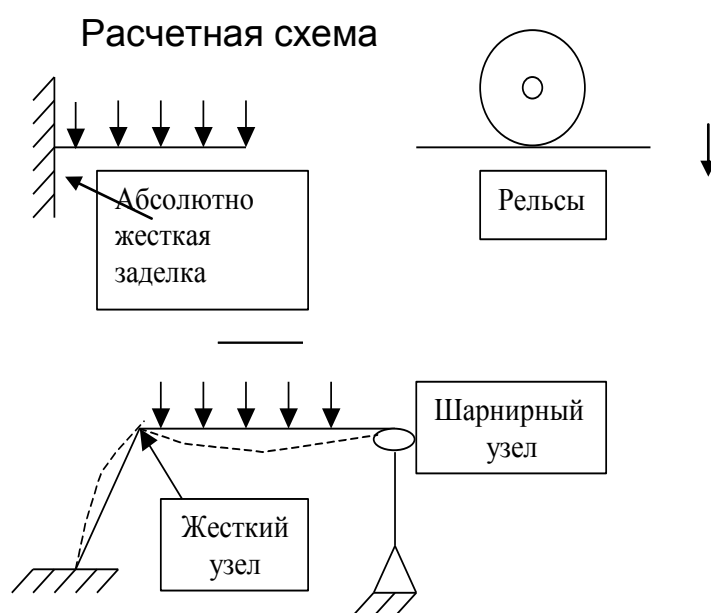


По характеру нагрузки делятся на статические – постоянные во время эксплуатации конструкции, и динамические – изменяющиеся во времени. Например, циклические – периодическое изменение величины и/или знака. В некоторых случаях необходимо учитывать влияние температуры, координатных осей, нейтронного облучения, электромагнитных полей и т.д.

Модели закрепления

Как отмечалось ранее реальный расчет с учетом многообразия механических характеристик материала и их уравнений, вследствие взаимодействия с окружающей средой, отклонения от точечных геометрических размеров, изменчивости нагрузок является либо теоретически невозможным, либо практически не приемлемым по своей сложности. Поэтому проводят *схематизацию* конструкции, отбросив второстепенные факторы, которые не оказывают существенного влияния на достоверность и точность расчета.

Расчетная схема – упрощенная изолированная схема, отображающая наиболее существенные (факторы) **особенности объекта.**



В зависимости от того, как закреплена та или иная деталь, элемент конструкции, будет возникать различное напряженно-деформированное состояние. Модели закрепления дают нам информацию о том какие перемещения и в каких направлениях возникают. Например, в месте защемления перекрытия пола в стеновых панелях здания есть очень малые перемещения, тем не менее, для расчета на прочность этой конструкции они не существенны, поэтому мы считаем такое защемление абсолютно жестким, т.е. перемещения во всех направлениях $U_x, U_y, U_z = 0$.

Напряженно-деформированное состояние материалов и конструкций

При любом внешнем воздействии нагрузки в детали, элементе конструкции возникают напряжения и деформации.

Понятия деформаций и напряжений

Деформация: - это всякое изменение формы и размеров.

Простым деформациями являются ***растяжение, сжатие, изгиб и кручение***

Всякая простая деформация представляет собой то или иное сочетание двух деформаций линейного УДЛИНЕНИЯ ИЛИ УКРОЧЕНИЯ и углового сдвига.

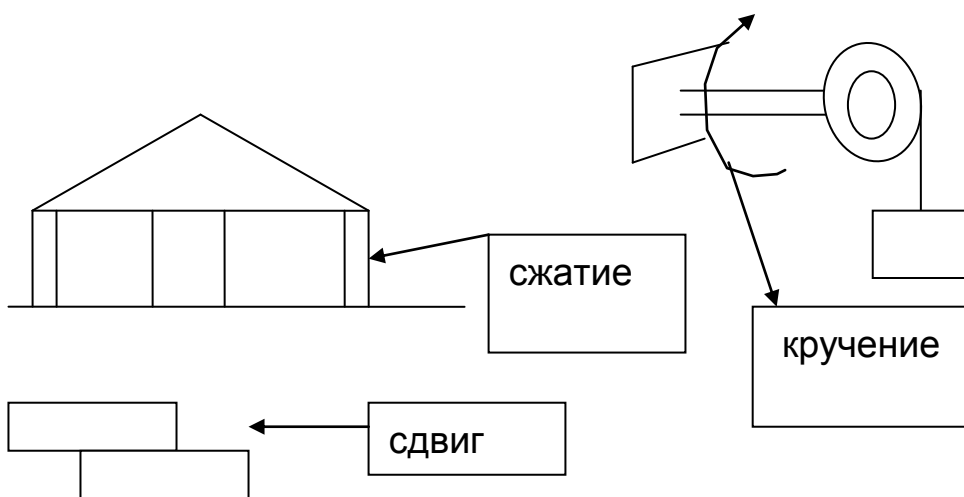
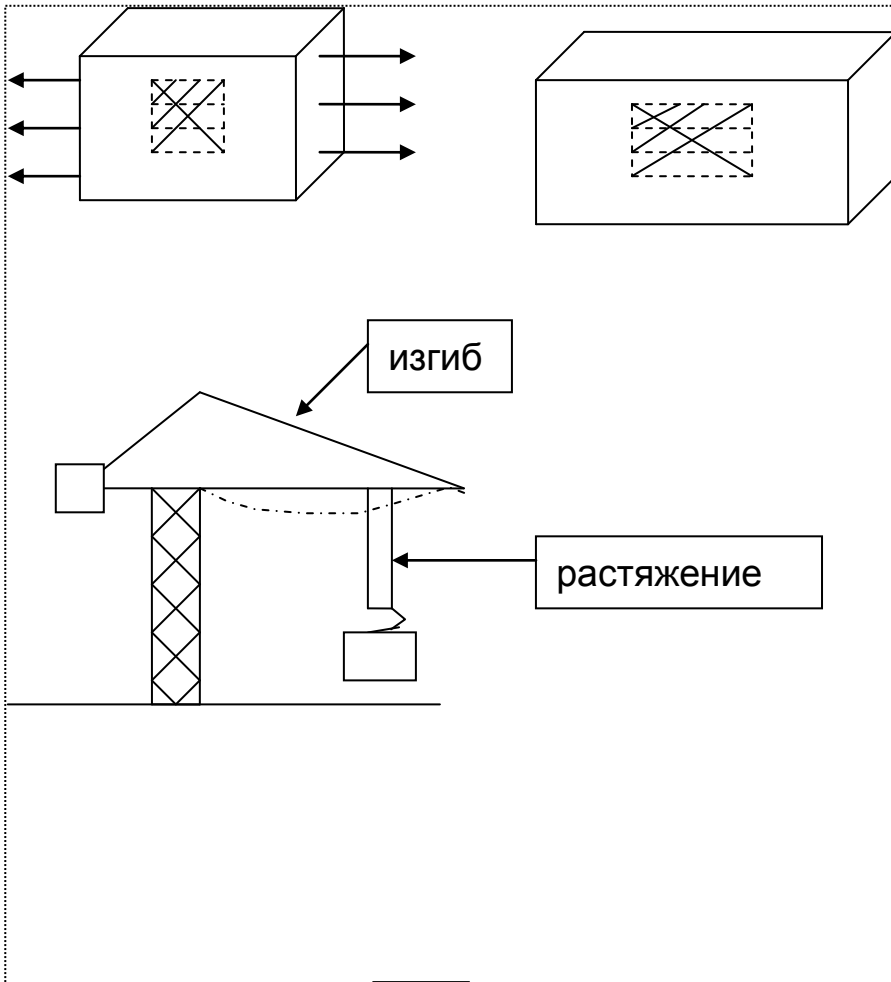
Таким образом, при воздействии внешних сил почти всегда происходит деформация. Если деформации малые, то скорее всего, имеют упругий характер, а большие деформации – необратимы (пластические) вплоть до разрушения.

Деформация сопровождается изменением внутренних сил.

Деформация в механике является относительной безразмерной величиной. Также деформации могут изменяться в процентах (в металлах упругие деформации до 0,2%, а пластические от 0,2 и выше).

Например, деформация удлинения ε_0 при растяжении стержня с первоначальной длиной L_0 , который увеличился под нагрузкой на $\Delta L = L_{\text{конеч}} - L_0$ будут определяться в виде:

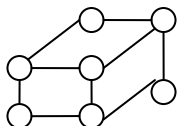
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} .$$



Виды простых деформаций: *растяжение, сжатие, изгиб и кручение*

Напряжение

Любые напряжения в материалах имеют электрическую природу т.е. при отсутствии нагрузки тело находится в равновесии, и силы отталкивания равны силам притяжения между частицами структуры материала

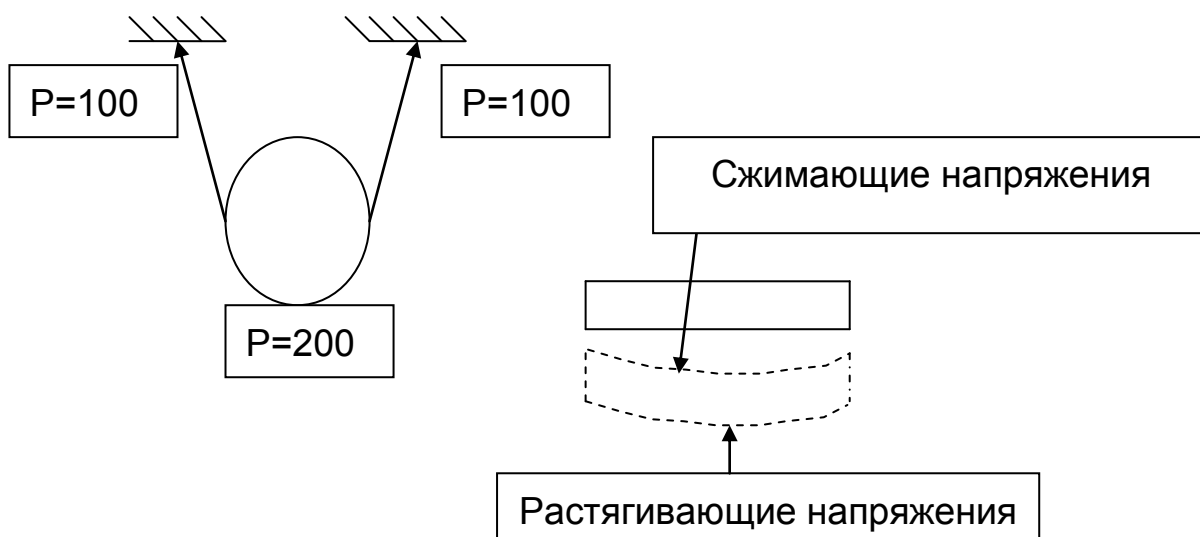


Пример: кристаллическая структура металлов.

Если на макроуровне происходит деформация, то геометрические параметры, а соответственно силы также меняются. Следовательно, внутренняя сила складывается из бесчисленного множества взаимодействий атомов и распределена по сечению, но не всегда одинакова по сечению, а зависит от вида деформации. Мету интенсивности внутренней силы называют напряжением, т.е. напряжение - это величина внутренней силы, которая приходится на единицу площади сечения. Например, при равномерном растяжении стержня нагрузкой P внутренние механические напряжения будут описываться выражением

$$\sigma = \frac{P}{S_{сеч}} \left[\frac{H}{M^2} \right], \text{ или МПа,}$$

где $S_{сеч}$ - площадь поперечного сечения стержня.



Напряжение перпендикулярное к плоскости сечения называется нормальным. Напряжение в плоскости сечения называется касательным. Растягивающие напряжения принято считать в механике положительными, сжимающие отрицательными.

Расчеты на прочность, жесткость и устойчивость.

Служат для обеспечения механической надежности. Такие расчеты состоят из двух этапов.

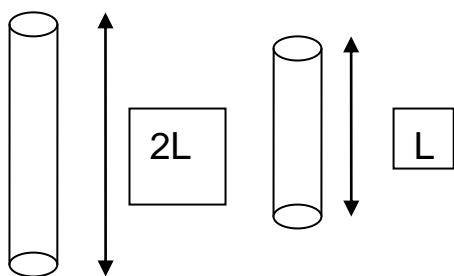
1. На первом этапе вычисляются напряжения, деформации и перемещения в элементах конструкции, подверженных действию внешних нагрузок. Такие задачи решаются методами сопромата, теории упругости, теории ползучести, строительной механики и т.д. Т.е. решается вопрос, может ли конструкция достаточно надежно служить в течение установленного срока.
2. Второй этап – это сопоставление найденного НДС с некоторыми нормативно допустимыми значениями или сопоставление расчетных нагрузок с их предельными значениями. Т.е. решается вопрос, является ли конструкция надежной, долговечной и экономичной.

Растяжение и сжатие

При растяжении или сжатии образца совершается работа. За счет этой работы в деформируемом теле накапливается энергия, называемая потенциальной (потенция – возможность) т.е. потенциальная энергия скрыта в теле и может проявиться при известных условиях переходя в другие виды энергии. Как только сила снята, тело начинает восстанавливать форму, расходуя накопительную потенциальную энергию. Пример: при заводе пружины механические часы, пружина накапливает энергию, которая потом тратится, приводя в движение механизм.

При растяжении как и при сжатии напряжения нормальные распределяются по объему равномерно и зависят от площади поперечного сечения и не зависят от длины образца.

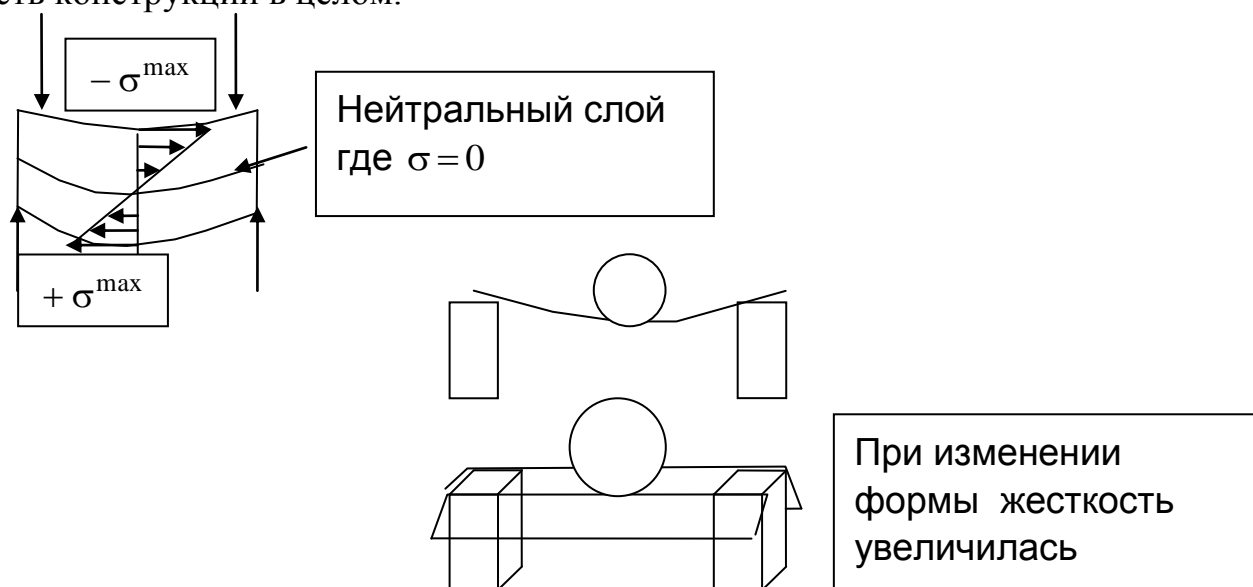
Отличие между растяжением и сжатием является то, что при растяжении напряженное состояние не зависит от формы, а вот сжатие длинных тонких изделий может привести к потере устойчивости.



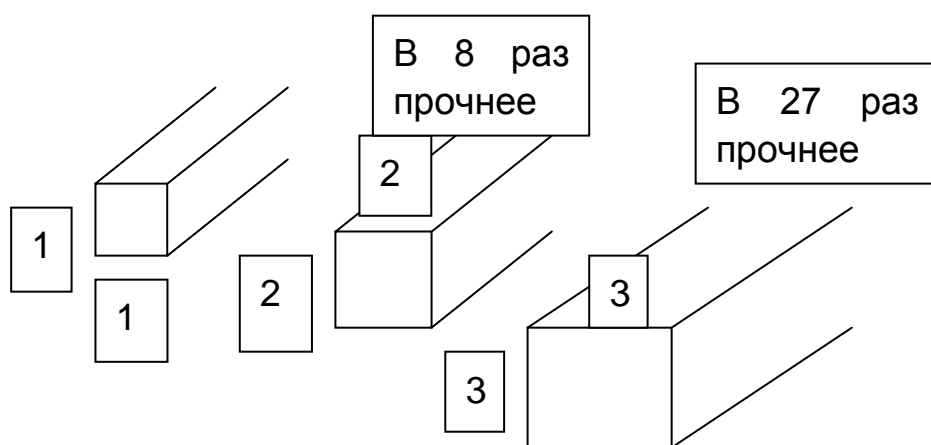
Изгиб

При изгибе напряжения распределяются по сечению неравномерно, что является опасным, так как не все строительные и конструкционные материалы одинаково сопротивляются растяжению и сжатию. Например, силикаты (бетон) успешно работают на сжатие в строительных конструкциях и в несколько раз хуже на изгиб и растяжение. При изгибе на одной из поверхностей возникают максимальные нормальные растягивающие напряжения, которые уменьшаются до нуля на нейтральном слое, после которого меняют знак и начинают увеличиваться сжимающие напряжения до максимума на другой поверхности.

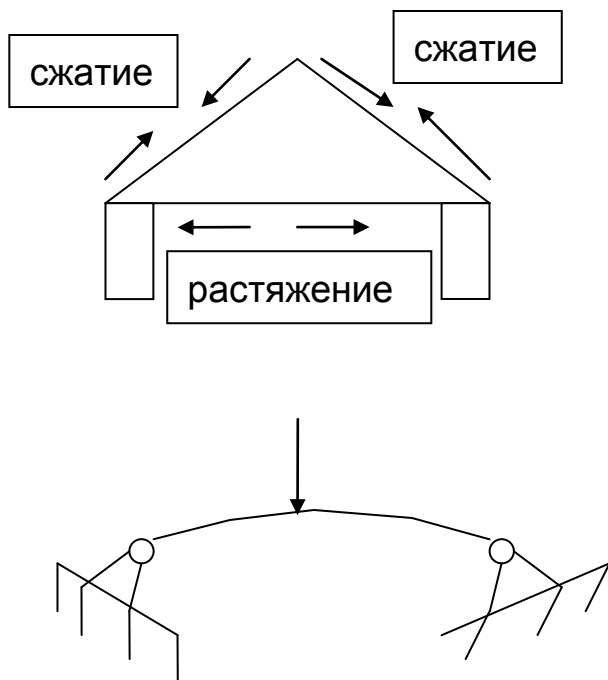
Напряжения при изгибе существенно зависят от формы поперечного сечения, отсюда многообразие сортамента из различных металлов и сплавов – уголки, швеллеры, двутавры, п-образные и т.д., все эти профили позволяют облегчить конструкцию, экономить материал, практически не меняя прочностных свойств конструкции в целом.



Сопротивление изгибу существенно зависит от площади поперечного сечения



Во многих случаях изгиб необходимо и возможно превратить в растяжение и сжатие. Для этого применяются такие особые конструкционные формы. Примером служат железнодорожные мосты – это просто, легко и экономично.



Деревянные мосты, арки, купола являются очень древними конструкциями, где осуществлены попытка заменить изгиб на сжатие (около 5000 лет).

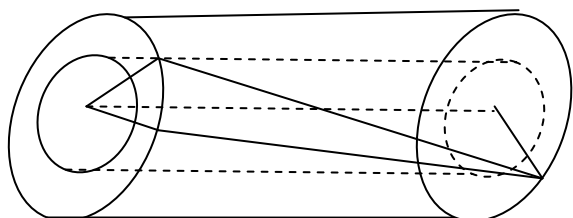
Кручение

Электроэнергия имеет повсеместное применение. Самую дешевую

Электроэнергию дают гидростанции. Под напором воды вращается турбинное колесо. Через стальной вал вращение турбинного колеса передается генератору, вырабатывающему электрический ток. Вода воздействует на турбину с огромной силой, подобно тому, как силы скручивали мокрую одежду при обжимании. Такие усилия называют крутящим моментом.

Для того чтобы определить характер нагруженного состояния проводят простейший опыт: На резиновом жгуте чертят ряд продольных линий и поперечных окружностей. При закручивании мы увидим, продольные призмы стали винтовыми, а прямоугольники параллелепипедами. Это происходит в результате деформации сдвига под воздействием крутящего момента.

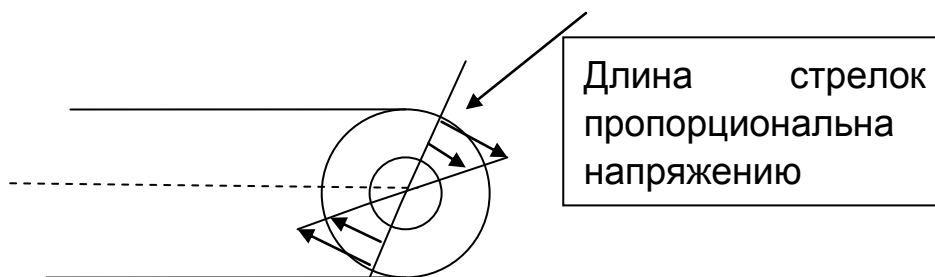
Пример: карданный вал автомобиля.



При кручении, то есть при деформации сдвига возникают касательные напряжения, которые уменьшаются от поверхности к оси до нуля. Сдвиги по мере приближения к оси вала также уменьшаются.

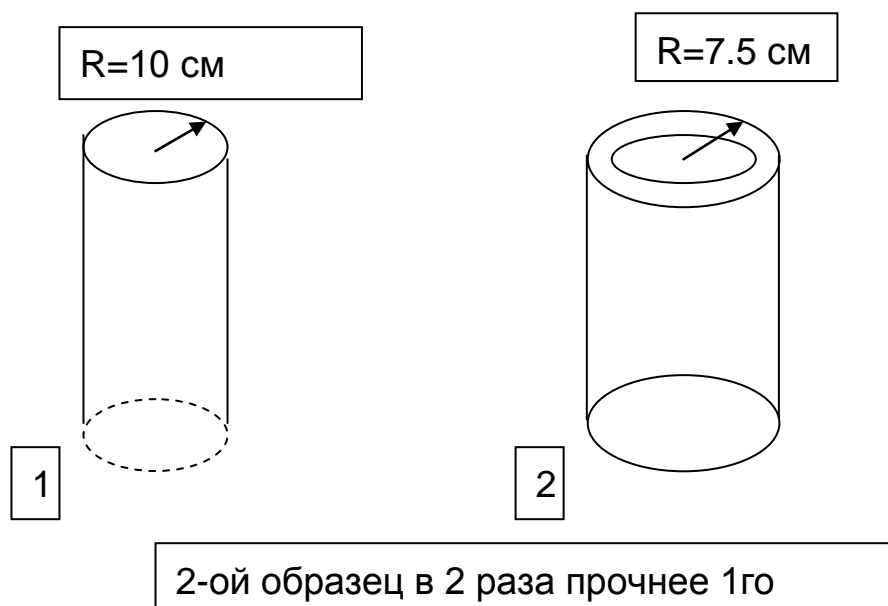
Результаты многочисленных экспериментов доказывают, чем больше диаметр вала, тем лучше он сопротивляется кручению

К примеру, увеличение диаметра вала в 2 раз повышает его прочность в 8 раз, а увеличение в 4 раза делает вал прочнее в 64 раза.



На схеме видно, что вблизи оси напряжения малы, там материал недогружен, его прочность почти не используется, этот факт позволяет применить полые трубные валы, то есть за счет высверливания сердцевины уменьшать вес, экономить металл без ущерба для прочности.

Поэтому трубчатые валы нашли широкое применение в автомобиле и самолетостроении, где особенно необходимо сочетание высокой прочности детали с наименьшим их весом



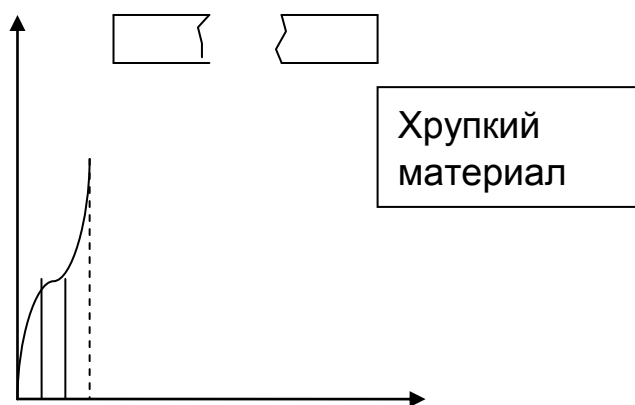
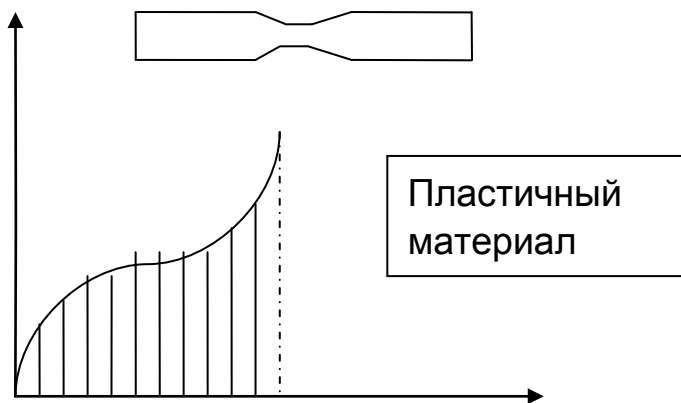
Но нельзя увлекаться уменьшением толщины стенки вала. Тонкостенный вал вроде водосточной трубы при кручении сплющивается подобно водосточным трубам из жести.

Ударная прочность

Работа почти всякой машины сопровождается более или менее сильными ударами. Даже тиканье часов – это удары друг друга мельчайших деталей часового механизма. Инженерам т.е создателям машин и механизмов просто необходимо знать, как удары влияют на различные материалы. И не только инженеры, но и эксплуататоры должны знать, как адекватно реализовать при ударных нагрузках, тогда можно продлить срок службы механизмов и приборов.

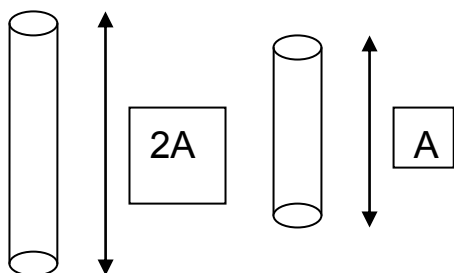
Величину спокойной нагрузки статической нагрузки измеряется в кгс, т или в других единицы силы. Величину ударной нагрузки так измерять нельзя. Ударная нагрузка определяется количеством энергии, передаваемой в момент удара от одного тела к другому. Например, камень, падающий из ковша экскаватора в кузов самосвала, обладает в момент удара определенной кинетической энергией. Эта энергия превращается в энергию упругой и остаточной деформации кузова, рессор, колес и т.д. , а также самого камня .

Поэтому способность сопротивляться ударным нагрузкам определяется уже и пределом его прочности, а энергией деформации, которая могла бы быть накоплена в одном кубическом сантиметре материала до разрушения. Чем больше деформация, тем больше энергии накапливается в материале.



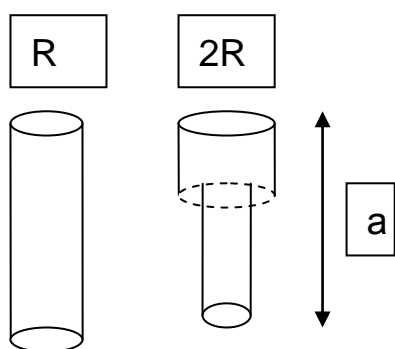
Заштрихованная площадь пропорциональна работе разрушения образцов.

Хрупкие материалы к пластическим деформациям не способны (см. рис.), поэтому хрупкие материалы плохо противостоят ударам, даже если предел прочности этих материалов велик. Однако ударная прочность детали зависит не только от материалов, но и от формы и размеров.



При постепенной разрывной нагрузке стержни разорвутся при одной и той же нагрузке. А при разрыве и при ударе: для разрыва длинного стержня потребуется почти вдвое более сильный удар, чем для короткого. Причина состоит в том, что к моменту разрыва удлинение короткого стержня почти вдвое меньше, чем у длинного, следовательно, разница в энергии. Т.е. длинные детали лучше противостоят ударным нагрузкам, чем короткие. Это свойство называется «податливость». То же самое наблюдается при ударном изгибе, скручивании и сжатии.

Ударную нагрузку легче воспринимают податливые, как бы пружинящие детали, поэтому там, где нужно смягчить удар, ставят рессоры, пружины, резиновые прокладки.



При ударе сильно удлиняется тонкая часть, а утолщение останется упругим. Т.о. легко противодействовать удару, поглощая его энергию, будет только тонкая часть. Следовательно, утолщение не только не повышает, а, наоборот, снижает прочность детали при действии удара.

Усталость металла

Пример. Колеса поезда (вагона) посажены на ось наглухо, и ось вращается вместе с ними. Под тяжестью вагона ось изгибается. Одни слои материала сжимаются, а другие растягиваются. Но во время движения поезда ось вращается, и те волокна, которые растягивались, через долю секунды уже сжимаются. Такая нагрузка называется знакопеременным изгибом.

Осмотр деталей, разрушившихся под воздействием многократной знакопеременной нагрузки, показывает, что пластичные материалы в этом случае разрушаются подобно хрупким. Способность материала сопротивляться многократным нагрузкам называется выносливостью. Испытания на выносливость. Пример.

Механические свойства, определяемые при циклическом нагружении Испытания на усталость

- Большинство разрушений деталей и конструкций при эксплуатации происходит в результате циклического нагружения. Металл, подверженный такому нагружению, может разрушаться при более низких напряжениях, чем при однократном плавном нагружении.
- Процесс постепенного накопления повреждений в материале при действии циклических нагрузок, приводящий к образованию трещин и разрушению, называют *усталостью*. Свойство материалов противостоять усталости называют *выносливостью*.
- На рис. 2.18 приведена типичная схема испытаний на усталость с соответствующими циклами напряжений. Согласно схеме, циклическое нагружение осуществляется подвешенным неподвижным грузом при вращении консольно закрепленного образца (рис. 2.18, а).

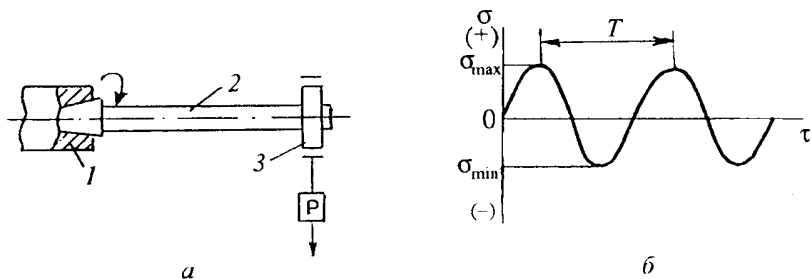


Рис. 2.18. Пример испытаний на усталость:
а — схема нагружения образца (1 — вращающийся шпindelь; 2 — образец; 3 — нагружающий подшипник); б — циклическое изменение напряжения σ в образце

Патроны с образцами начинают вращаться, грузы отгибают их вниз, происходит знакопеременный изгиб. Образец с треском ломается, счетчик отсчитал 1,2 млн циклов. Если уменьшить груз, т.е. напряжения, то образец выдержит уже 4 млн циклов. Результаты испытаний изображают в виде диаграммы выносливости. При уменьшении нагрузки при смене образцов, можно найти такую величину напряжения, при котором сталь выдерживает уже неограниченное число циклов нагрузки. Важно отметить, что предел выносливости материала всегда меньше его предела прочности (обычно в 2-3 раза), зачастую даже меньше его предела текучести. Знакопеременная многократная нагрузка гораздо опаснее для прочности материала чем спокойная. Это объясняется тем, что уже при сравнительно небольших напряжениях в отдельных зернах металла, менее прочных, чем другие, появляются пластические сдвиги. При многократной смене напряжений эти сдвиги дают начало макроскопической трещине. Далее трещина растет и в конце концов деталь, ослабленная трещиной, ломается.

Например,

$$\sigma_{-1} = 0,45\sigma_B \text{ (для чугуна и углеродной стали)}$$

$$\sigma_{-1} = 0,35\sigma_B + 90 \text{ МПа (для легированной стали)}$$

$$\sigma_{-1} = 0,36\sigma_B \text{ (для цветных металлов)}$$

Кривая и предел усталости

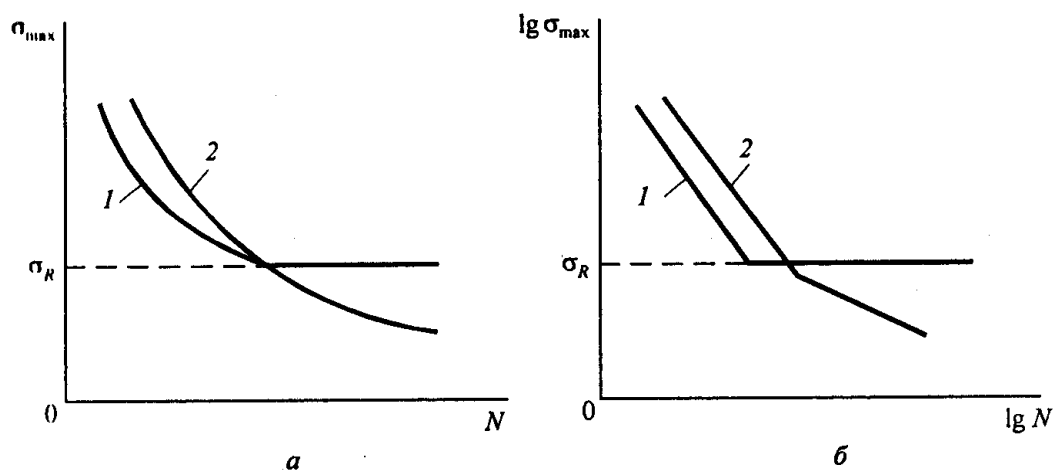


Рис. 2.19. Диаграмма усталости в различных координатах для материалов, имеющих (1) и не имеющих (2) физического предела выносливости

- По результатам испытаний отдельных образцов строят диаграммы усталости в координатах максимальное напряжение — число циклов (рис. 2.19, а). Ино-гда диаграммы усталости строят в полулогарифмических или логарифмических координатах (рис. 2.19, б).
- Переход кривой усталости в горизонталь наблюдается обычно на сталях после 10^7 циклов нагружения. Для цветных сплавов это значение составляет обычно 10^8 циклов нагружения. Ордината, соответствующая постоянному значению σ_{\max} , является физическим пределом выносливости. Но могут быть случаи, когда и после указанного числа циклов кривая усталости не переходит в горизонталь, а продолжает снижаться. Тогда $N = 10^7$ для сталей и $N = 10^8$ для цветных сплавов принимают за базу испытаний и при указанных числах циклов определяют ограниченный предел выносливости.

Ползучесть

Такие свойства металлов, как пластичность, прочность, значительно изменяются с изменением температуры, давления и других условий работы. На практике детали многих машин и сооружений работают под воздействием высокой температуры. В таких условиях металлы приобретают отрицательное свойство постепенно деформироваться под воздействием даже сравнительно небольшой нагрузки.

Текучесть холодного металла наступает при сравнительно высоких напряжениях. А текучесть нагретого металла наступает под действием постоянной нагрузки даже при напряжениях, далеко не достигающих предела текучести. Металл как бы «ползет».

Ползучесть – это явление постепенного нарастания деформации нагретого металла без увеличения нагрузки. Это несомненно пластическая деформация, своего рода медленная текучесть.

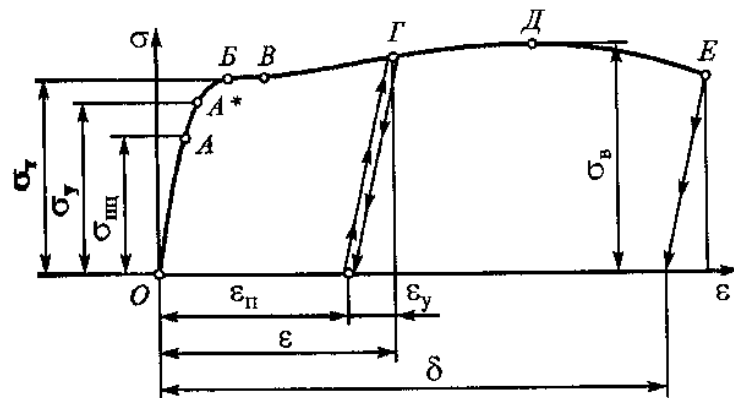
Некоторые металлы, например, латунь, алюминий, «ползут» даже при комнатной температуре, хотя и очень медленно. Сталь более устойчива, ее ползучесть заметна только при температурах более 300-350°C. Чем больше напряжения в металле и чем выше температура, тем быстрее «ползет» металл. Например, метровый стержень из углеродной стали, растягиваемый при напряжении 100 кг/см², при температуре 540°C, удлинится за год на 15 мм. Т.е. если необходима долговечность, то такое удлинение недопустимо. Кроме того, при увеличении температуры до 600°C, скорость ползучести возрастает в 10 раз.

Определение фундаментальных механических характеристик материалов

Деформированное состояние, связь между перемещениями и деформациями устанавливается из геометрии (кинематики) и также не зависит от физических свойств материала. Для установления связи между напряжениями и деформациями необходимо учитывать реальные свойства материала и условия нагружения. Все математические модели, описывающие связь между напряжениями и деформациями, разрабатываются на основе экспериментальных данных (эмпирически).

Испытания образцов на растяжение проводятся с целью экспериментального определения механических характеристик материалов. Наиболее распространенными в настоящее время являются испытания цилиндрических и плоских образцов в условиях одноосного растяжения. Широкому применению этого вида испытаний способствует относительная простота их осуществления, так как имеется большой парк разрывных и универсальных испытательных машин. Испытание на растяжение заключается в плавном деформировании закрепленного в захватах испытательной машины образца из исследуемого материала до наступления его разрушения. В процессе испытаний измеряются сила, действующая на образец, и удлинение его расчетного участка. Результатом испытаний является графическая диаграмма (см. рис.) растяжения.

Диаграмма растяжения



На начальном этапе растяжения абсолютные деформации пропорциональны нагрузке, а относительные деформации пропорциональны напряжению. На этом участке выполняется закон Гука — математическая линейная зависимость между напряжениями и деформациями:

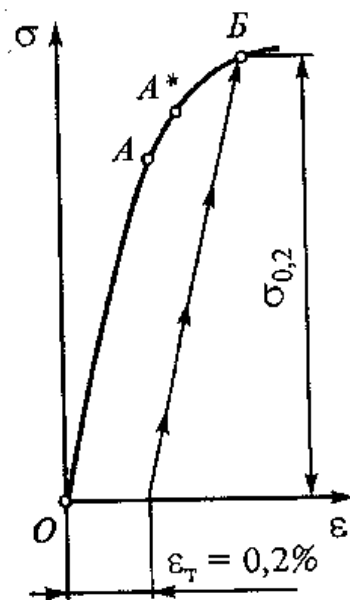
$$\sigma = E\varepsilon,$$

где E — модуль упругости (Юнга) равный тангенсу угла наклона прямого участка диаграммы к оси абсцисс. В точке A закон Гука нарушается, а зависимость становится нелинейной. Далее на диаграмме присутствует практически

горизонтальный участок BB , называемый площадкой текучести. Такое явление называется текучестью: образец удлиняется (деформируется) практически при постоянной силе. Затем следует участок BD , называемый зоной упрочнения, после которого в точке D достигается максимальная сила, которую может выдержать образец. Последний участок разрушения DE – зона локальной деформации, когда появляется местное утонение образца (шейка).

Пределом пропорциональности $\sigma_{пц}$, называется максимальное напряжение, при котором выполняется закон Гука. При достижении нагрузкой некоторой величины в образце появляются остаточные деформации. Пределом упругости σ_y называют максимальное напряжение, при котором не возникают остаточные деформации. Принято считать за максимальное то напряжение, при котором в испытываемом образце появляются деформации 0,05%.

Предел пропорциональности, предел упругости, модуль упругости и коэффициент поперечной деформации характеризуют упругие свойства материала. Предел текучести материала σ_T – наименьшее напряжение, при котором деформация увеличивается без заметного увеличения нагрузки. Если после возникновения текучести продолжать увеличивать действие нагрузки, наступает разрушение. Пределом прочности (временным сопротивлением) называют напряжение, соответствующее максимальной нагрузке, предшествующей разрушению образца. При отсутствии площадки текучести (что характерно для диаграмм растяжения большинства материалов, после предварительной пластической деформации) определяют условный (технический) предел текучести.



Условным пределом текучести $\sigma_{0,2}$ называется напряжение, при котором остаточная (пластическая) деформация составляет 0,2 %. Условный предел текучести определяется аналогично пределу упругости.

Еще одна важная характеристика материала – это оценка интенсивности деформации, где применяют такие понятия как: относительная продольная ε и относительная поперечная ε' деформации, приходящиеся на единицу длины или площади сечения стержня:

$$\varepsilon = \Delta l / l; \quad \varepsilon' = \Delta s / s,$$

где Δl – изменение длины, Δs – изменение площади сечения образца.

Продольная и поперечная деформации связаны соотношением

$$\left| \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \right| = \mu,$$

где μ – коэффициент Пуассона – постоянная материала в пределах упругости.

Таким образом, испытания на растяжение дают возможность определить самые важные механические параметры материала необходимые для создания прочных и надежных конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экспериментальная механика: учебно-методическое пособие / Е.В. Кузнецова. – Пермь: Издательство Перм. гос. техн. ун-та, 2009. – 43 с.
 2. Специальные разделы естествознания: учебно-методическое пособие / Е.В. Кузнецова. – Пермь: Издательство Перм. гос. техн. ун-та, 2006. – 88 с.
- Карпенков С.Х. Концепции современного естествознания / С.Х. Карпенков. М.: Высш. шк., 2003. –334 с.

Модули упругости и коэффициенты Пуассона

Материал	Модуль упругости, кгс/см ²		Коэффициент Пуассона μ
	E	G	
Чугун серый, белый	$(1,15 \div 1,60) \cdot 10^6$	$4,5 \cdot 10^5$	0,23—0,27
» ковкий	$1,55 \cdot 10^6$	—	—
Стали углеродистые	$(2,0 \div 2,1) \cdot 10^6$	$(8,0 \div 8,1) \cdot 10^5$	0,24—0,28
» легированные	$(2,1 \div 2,2) \cdot 10^6$	$(8,0 \div 8,1) \cdot 10^5$	0,25—0,30
Медь прокатанная	$1,1 \cdot 10^6$	$4,0 \cdot 10^5$	0,31—0,34
» холодноотянутая	$1,3 \cdot 10^6$	$4,9 \cdot 10^5$	—
» литая	$0,84 \cdot 10^6$	—	—
Бронза фосфористая	$1,15 \cdot 10^6$	$4,2 \cdot 10^5$	0,32—0,35
катаная	—	—	—
Бронза марганцовистая	$1,1 \cdot 10^6$	$4,0 \cdot 10^5$	0,35
катаная	—	—	—
Бронза алюминиевая	$1,05 \cdot 10^6$	$4,2 \cdot 10^5$	—
литая	—	—	—
Латунь холодноотянутая	$(0,91 \div 0,99) \cdot 10^6$	$(3,5 \div 3,7) \cdot 10^5$	0,32—0,42
» корабельная	$1,0 \cdot 10^6$	—	0,36
катаная	—	—	—
Алюминий катаный	$0,69 \cdot 10^6$	$(2,6 \div 2,7) \cdot 10^5$	0,32—0,36
Проволока алюми- ниевая тянутая	$0,7 \cdot 10^6$	—	—
Дуралюмин катаный	$0,71 \cdot 10^6$	$2,7 \cdot 10^5$	—
Цинк катаный	$0,84 \cdot 10^6$	$3,2 \cdot 10^5$	0,27
Свинец	$0,17 \cdot 10^6$	$0,70 \cdot 10^5$	0,42
Лед	$0,1 \cdot 10^6$	$(0,28 \div 0,3) \cdot 10^5$	—
Стекло	$0,56 \cdot 10^6$	$2,2 \cdot 10^5$	0,25
Гранит	$0,49 \cdot 10^6$	—	—
Известняк	$0,42 \cdot 10^6$	—	—
Мрамор	$0,56 \cdot 10^6$	—	—
Песчаник	$0,18 \cdot 10^6$	—	—
Каменная кладка из гранита	$(0,09 \div 0,1) \cdot 10^6$	—	—
Каменная кладка из известняка	$0,06 \cdot 10^6$	—	—
Каменная кладка из кирпича	$(0,027 \div 0,030) \cdot 10^6$	—	—
Бетон при пределе прочности, кгс/см ²			
100	$(0,146 \div 0,196) \cdot 10^6$	—	0,16—0,18
150	$(0,164 \div 0,214) \cdot 10^6$	—	0,16—0,18
200	$(0,182 \div 0,232) \cdot 10^6$	—	0,16—0,18
Дерево вдоль волокон	$(0,1 \div 0,12) \cdot 10^6$	$0,055 \cdot 10^5$	—
» поперек »	$(0,005 \div 0,01) \cdot 10^6$	—	—
Каучук	$0,00008 \cdot 10^6$	—	0,47
Текстолит	$(0,06 \div 0,1) \cdot 10^6$	—	—
Гетинакс	$(0,1 \div 0,17) \cdot 10^6$	—	—
Бакелит	$43 \cdot 10^6$	—	0,36
Вискомлит (ИМ-44)	$(40 \div 42) \cdot 10^6$	—	0,37
Целлулоид	$(14,3 \div 27,5) \cdot 10^6$	—	0,33—0,38

**Ориентировочные значения основных допускаемых напряжений
на растяжение и сжатие**

Материал	Допускаемое напряжение, кгс/см ² , на	
	растяжение	сжатие
Чугун серый в отливках	280—800	1200—1500
Сталь Ст2	1400	
» Ст3	1600	
» Ст3 в мостах	1400	
» машиностроительная (конструкционная) угле- родистая	600—2500	
Сталь машиностроительная (конструкционная) леги- рованная	1000—4000 и выше	
Медь	300—1200	
Латунь	700—1400	
Бронза	600—1200	
Алюминий	300—800	
Алюминиевая бронза	800—1200	
Дуралюмин	800—1500	
Текстолит	300—400	
Гетинакс	500—700	
Бакелизированная фанера	400—500	
Сосна вдоль волокон	70—100	100—120
» поперек »	—	15—20
Дуб вдоль волокон	90—130	130—150
» поперек »	—	20—35
Каменная кладка	до 3	4—40
Кирпичная »	до 2	6—25
Бетон	1—7	10—90