

## Классификация сил, действующих на элементы конструкций

- **Сосредоточенными силами** называются давления, передающиеся на элемент конструкции через площадку, размеры которой очень малы по сравнению с размерами всего элемента (например, давление колес подвижного состава на рельсы).

При расчетах, благодаря малости площадки, передающей давление, обычно считают сосредоточенную силу **приложенной в точке**. Неточность, вызываемая таким приближённым представлением, настолько мала, что на практике ею можно пренебречь.

Сосредоточенные нагрузки измеряются в **единицах силы**: тоннах, килограммах.

- **Распределёнными нагрузками** (*равномерными и неравномерными*) называются силы, приложенные непрерывно на протяжении некоторой длины или площади конструкции.

Распределенные по площади нагрузки выражаются в единицах силы, отнесенных к единице площади ( $t/m^3$ ,  $kg/cm^2$  и т.п.); распределенные по длине элемента — в единицах силы, отнесенных к единице длины ( $kg/m$ ).

- **Нагрузки** могут быть **статические** и **повторно-переменные**.

**Статические** нагрузки не меняются со временем или меняются очень медленно.

Например, собственный вес сооружения.

При действии статических грузов проводится **расчет на прочность**.

**Повторно-переменные** нагрузки многократно меняют значение или значение и знак.

Например, вес поезда, идущего по мосту.

Результаты воздействия таких нагрузок на элементы конструкции оказываются иными, чем статических, и материал иначе сопротивляется этим воздействиям.

Действие таких нагрузок вызывает усталость металла. Расчет ведут на **выносливость**

## Деформации и напряжения

- Как элементы конструкций, так и конструкции в целом при действии внешних сил в большей или меньшей степени **изменяют свои размеры и форму** и в результате могут **разрушиться**. Это изменение называется **деформацией**.
- **Упругими деформациями** называются такие изменения формы и размеров элементов, которые **исчезают** после удаления вызвавших их сил, т.е. **прежняя форма полностью восстанавливается**.

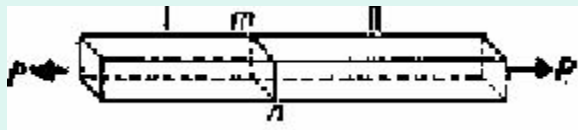
Эти деформации связаны лишь с упругими искажениями решетки атомов. Упругие деформации наблюдаются до тех пор, пока величина внешних сил не превзошла известного предела



- Если же внешние силы перешли этот предел, и после их удаления **форма и размеры элемента не восстанавливаются** в первоначальном виде - оставшиеся разности размеров называются **остаточными деформациями**.

Эти деформации в кристаллических материалах связаны с необратимыми перемещениями одних слоев кристаллической решетки относительно других. При удалении внешних сил сместившиеся слои атомов сохраняют свое положение.

- В элементах конструкции под действием внешних сил (к внешним силам относят активные силы и реакции опор) возникают **внутренние силы**, сопровождающие деформацию материала. Эти внутренние силы сопротивляются стремлению внешних сил разрушить элемент конструкции, изменить его форму, отделить одну его часть от другой. Они стремятся восстановить прежнюю форму и размеры деформированной части конструкции.

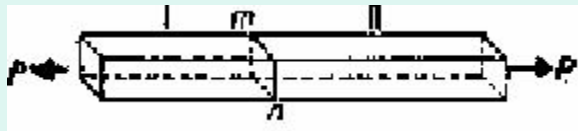


Чтобы численно характеризовать степень воздействия внешних сил необходимо научиться измерять и вычислять величину внутренних межатомных сил, возникших как результат деформации. Для этого пользуются **методом сечений**

## Метод сечений

- Метод сечений заключается в мысленном рассечении тела плоскостью и рассмотрении равновесия любой из отсеченных частей

Стержень находится под действием двух равных и прямо противоположных сил  $P$ . Мысленно разделим его на две части  $I$  и  $II$  плоскостью  $mn$ . Под действием сил  $P$  обе половины стержня стремятся разъединиться и удерживаются вместе за счет сил взаимодействия между атомами, находящимися по обе стороны плоскости  $mn$



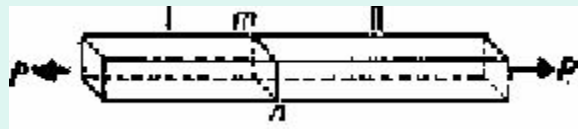
*Метод сечений* позволяет определить величину внутреннего силового фактора в сечении, но **не дает возможности установить закон распределения внутренних сил по сечению.**

Для оценки прочности необходимо определить величину силы, приходящуюся на любую точку поперечного сечения.

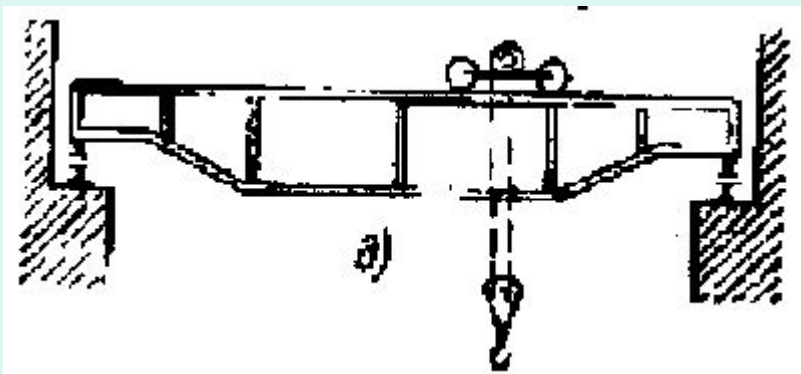
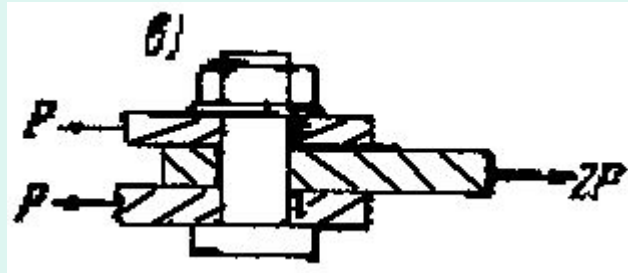
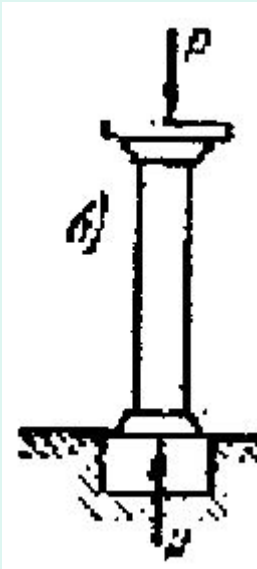
- Внутренняя сила взаимодействия, приходящаяся на единицу площади, выделенную в какой-либо точке сечения  $mn$ , называется **напряжением** в этой точке по проведенному сечению и измеряется в единицах силы, отнесенных к единице площади:  $кг/см^2$ ,  $кг/мм^2$  и т. д

Напряжения, действующие от части // на / и от / на //, по закону действия и противодействия равны между собой и уравнивают систему внешних сил, приложенных к телу.

- **Т.о.** величина напряжений в каждой точке и является мерой внутренних сил, которые возникают в материале как результат деформации, вызванной внешними силами
- Нормальное (перпендикулярное) к площадке напряжение обозначают буквой  **$\sigma$** , и называют его **нормальным напряжением**



- Примеры нагрузок:



Основными типами деформаций являются:

- Растяжение или сжатие
- Перерезывание (срез)
- Кручение
- Изгиб

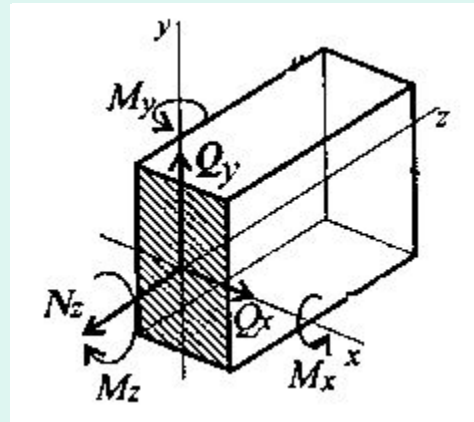
Эти, отдельно взятые деформации называются **простыми**

В случае, когда элементы конструкции испытывают два и более простых типов деформаций их называют **сложными деформациями**

- При каждом из этих видов деформаций существуют способы для их вычисления, а также способы определения напряжений, подбора материала и поперечных сечений элементов конструкции.

В общем случае все действующие на тело силы можно привести к равнодействующим.

- Используется система координат, связанная с телом. Чаще **про дольную ось детали обозначают  $z$** , начало координат совмещают с левым краем и размещают в центре тяжести сечения

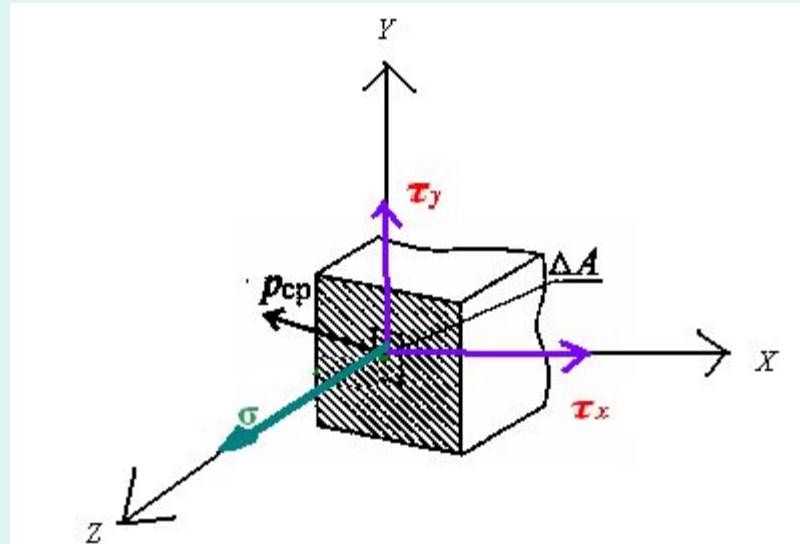


- $N_z$  — **продольная сила**, действующих на отсеченную часть бруса; вызывает **растяжение или сжатие**
- силы  $Q_x$  и  $Q_y$  — **поперечные силы**, действующих на отсеченную часть; вызывают **сдвиг сечения**
- $M_z$  — **крутящийся момент**, вызывает **скручивание** бруса
- моменты  $M_x$  и  $M_y$  - **изгибающие моменты** вызывают **изгиб** бруса в соответствующих плоскостях



- Направление напряжения  $\rho$  совпадает с направлением внутренней силы в этом сечении. Вектор  $\rho$  называют **полным напряжением**.

Обозначив векторами  $\tau_x$  и  $\tau_y$  — векторы, лежащие в площадке сечения (**касательным напряжениями**) и вектором  $\sigma$  — вектор, направленный перпендикулярно площадке (**нормальные напряжения**),



получим пространственный вектор  $\rho$  (полное напряжение) — в виде трех составляющих:

$$\rho = \sqrt{\sigma^2 + \tau_x^2 + \tau_y^2}$$

**Нормальное напряжение** характеризует

- сопротивление сечения **растяжению или сжатию**.

**Касательное напряжение**

- характеризует сопротивление сечения **сдвигу**.
- **Сила  $N$  (продольная)** вызывает появление **нормального** напряжения  **$\sigma$**
- **Силы  $Q_x$  и  $Q_y$  (поперечные силы)** вызывают появление **касательных** напряжений  **$\tau$**
- **Моменты  $M_x$  и  $M_y$  (изгибающие моменты)** вызывают появление **нормальных** напряжений  **$\sigma$** , переменных по сечению
- **Крутящий момент  $M_z$**  вызывает сдвиг сечения вокруг продольной оси, поэтому появляются **касательные** напряжения  **$\tau$** .

# Основные гипотезы и допущения

## 1. Допущения о свойствах материалов:

- Материалы **однородные** (в любой точке материалы имеют одинаковые физико-механические свойства)
- Материалы представляют **сплошную среду** (кристаллическое строение и микроскопические дефекты не учитываются)
- Материалы **изотропны** (механические свойства не зависят от направления нагружения)

Принятие таких допущений упрощает расчет, но в реальных материалах эти допущения выполняются лишь отчасти, поэтому все эти упрощения принято компенсировать, вводя **коэффициент запаса прочности  $S$**

## Диаграмма деформаций и диаграмма механических характеристик

- Все материалы под нагрузкой **деформируются**, т. е. меняют форму и размеры:

Рассмотрим график испытаний малоуглеродистой стали на растяжение. Зависимость между приложенным усилием и деформацией:



Особые точки диаграммы: 1, 2, 3, 4, 5:

- точка 1 соответствует **пределу пропорциональности**: после нее прямая линия (прямая пропорциональность) заканчивается и переходит в кривую; **От точки 0 до точки 1 - деформация прямо пропорциональна нагрузке**, т.е. выполняется закон Гука. Считают, что **все материалы** подчиняются закону Гука.- допущение о деформациях!

- от точки 2 до точки 5 деформации быстро нарастают и образец разрушается.

Если прервать испытания до точки 2, образец вернется к исходным размерам. Эта область называется **областью упругих деформаций**.

Упругие деформации полностью исчезают после снятия нагрузки.

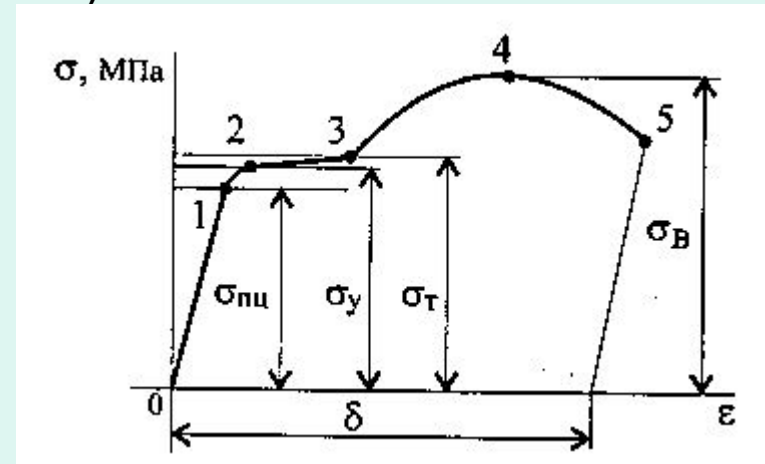
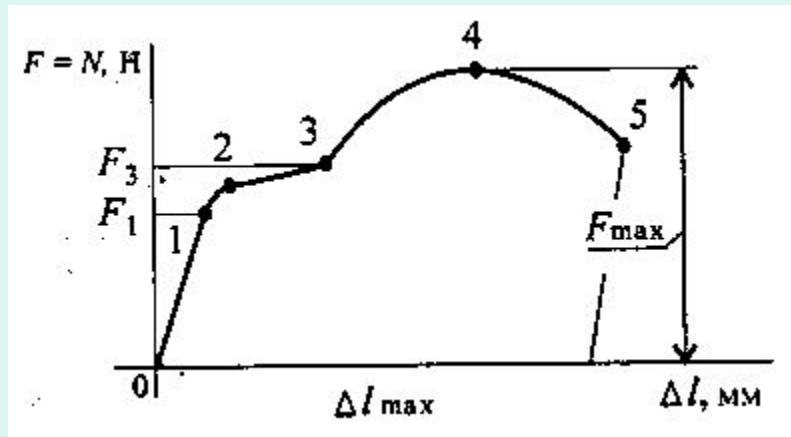


При продолжении испытания **после точки 2** образец уже не возвращается к исходным размерам, деформации начинают накапливаться. В **точке А** образец несколько сжимается по линии АВ, параллельной линии 01.

Деформации после точки 2 называются **пластическими**, они полностью не исчезают - их называют **остаточными**.

**Возникновение пластических деформаций относят к нарушению прочности**, хотя на практике бывают случаи, когда местные пластические деформации считаются допустимыми.

При построении **диаграммы механических характеристик** рассчитываются величины, имеющие условный характер. Усилия в каждой из точек делят на величину начальной площади поперечного сечения ( $A_0 = \pi d^2/4$  — начальная площадь сечения).



- **точка 1** соответствует **пределу пропорциональности**: деформация прямо пропорциональна нагрузке  $\sigma_{пп} = F_1 / A_0$
- **точка 2** соответствует **пределу упругости** материала: материал теряет упругие свойства: способность вернуться к исходным размерам  $\sigma_y = F_2 / A_0$
- **точка 3** завершает участок, на котором образец **без увеличения нагрузки** сильно деформируется. Это явление называют **текучестью**; Текучесть — удлинение при постоянной нагрузке  $\sigma_t = F_3 / A_0$
- **точка 4** соответствует **максимальной нагрузке**, в этот момент на образце образуется «*шейка*» — резкое уменьшение площади поперечного сечения. Зона называется **зоной упрочнения**, а напряжение в этой точке называют **временным сопротивлением разрыву**, или **условным пределом прочности**.

$$\sigma_b = F_{\max} / A_0.$$

Расчеты ведут, используя **принцип начальных размеров**:

**При работе конструкции деформации должны оставаться упругими**: при расчетах считают, что размеры под нагрузкой не должны изменяться, т.к. упругие деформации малы по сравнению с геометрическими размерами детали