

Важнейшими критериями работоспособности деталей машин являются:

- 1.прочность;**
- 2.жесткость;**
- 3.износостойкость;**
- 4.теплостойкость;**
- 5.виброустойчивость**

# Прочность

- Прочность – способность детали сопротивляться разрушению или возникновению пластических деформаций под действием приложенных к ней нагрузок.
- При действии постоянных напряжений производится расчет на статическую прочность по номинальным напряжениям.

При этом условие прочности при действии нормальных и касательных напряжений:

- $\sigma \leq [\sigma]$  – для нормальных напряжений;
- $\tau \leq [\tau]$  – для касательных напряжений.

# Оценка допускаемых напряжений

**Для пластических материалов:**

$$[\sigma] = \sigma_T / [S];$$

$$[\tau] = \tau_T / [S],$$

**где  $\sigma_T$ ,  $\tau_T$  – предел текучести  
материала,**

**$[S]$  – допускаемое значение  
коэффициента запаса прочности.**

## Основные факторы, влияющие на [S]

- Степень точности расчета
- Назначение и ответственность детали
- Условие работы и ресурс
- Температурный фактор
- Форма деталей

В случае переменных напряжений для стальных деталей принимают:

[S] = 1,3...1,5 – при точном расчете,

[S] = 1,6...2,5 – при менее точном расчете

При действии переменных напряжений, циклически меняющихся во времени, в материале детали происходят необратимые изменения, приводящие к возникновению микроскопических трещин, развитие которых вызывает усталостное разрушение детали.

Переменные напряжения характеризуются циклами изменения напряжений. В деталях машин возникают следующие циклы изменения напряжений (рис. 1.1):

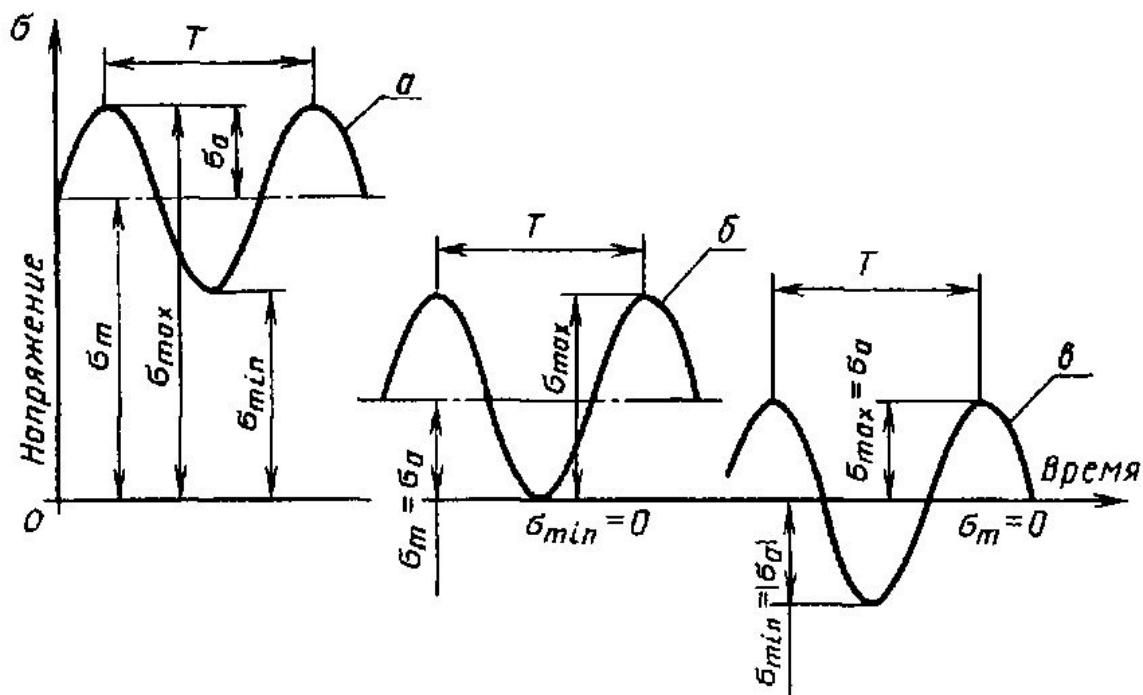


Рис. 1.1. Циклы напряжений:

а — асимметричный; б — отнулевой; в — симметричный

# Цикл переменных напряжений характеризуется:

максимальным напряжением  $\sigma_{\max}$

минимальным напряжением  $\sigma_{\min}$

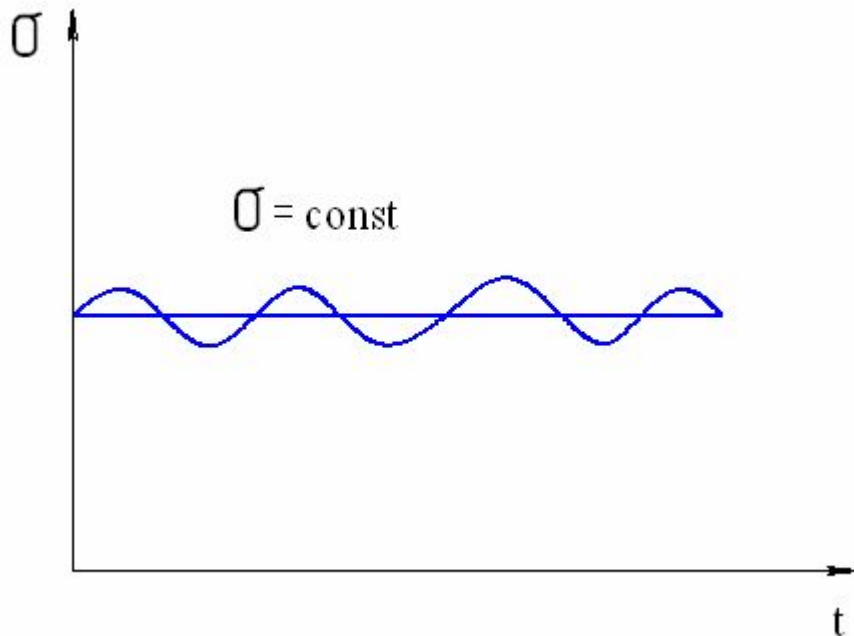
средним напряжением  $\sigma_m = 0,5(\sigma_{\max} + \sigma_{\min})$

амплитудой цикла  $\sigma_a = 0,5(\sigma_{\max} - \sigma_{\min})$

коэффициентом асимметрии цикла  $R = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}$

# Циклы изменения напряжений

Цикл статического нагружения (квазистатический («ненастоящий»))

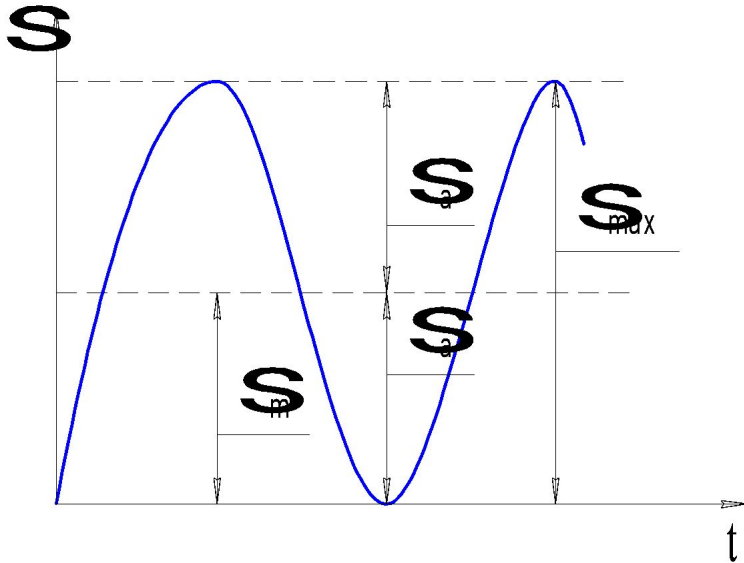


$$\sigma_{\max} = \sigma_{\min} = \sigma_m; \sigma_a = 0; r = +1;$$

$\sigma_{\max} = \sigma_{\sigma}(\sigma_T)$  — Предельное значение предел прочности (текучести).

$$[\sigma_{+1}] = \frac{\sigma_{\sigma}(\sigma_T)}{[n]} \frac{H}{\text{мм}^2}.$$

## Цикл отнулевой, (пульсирующий)



$$\sigma_m = \sigma_a = \frac{\sigma_{\max}}{2}; \sigma_{\min} = 0; r = 0.$$

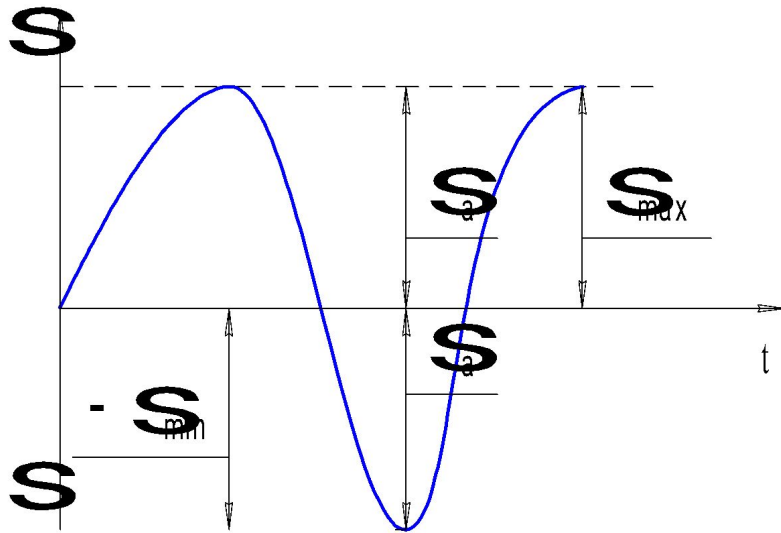
Предельное  
значение

$\sigma_{\max} = \sigma_0$  - предел выносливости  $\Pi$ -го цикла (приводится в справочных данных).

$$[\sigma_0] = \frac{\sigma_0}{[n]} \frac{H}{\text{мм}^2}.$$



## Цикл знакопеременный (симметричный)



$$\sigma_{\min} = -\sigma_{\max} = \sigma_a; \sigma_M = 0; r = -1.$$

Предельное значение  
-предел выносливости III ц.  
(приводится в справочных данных).

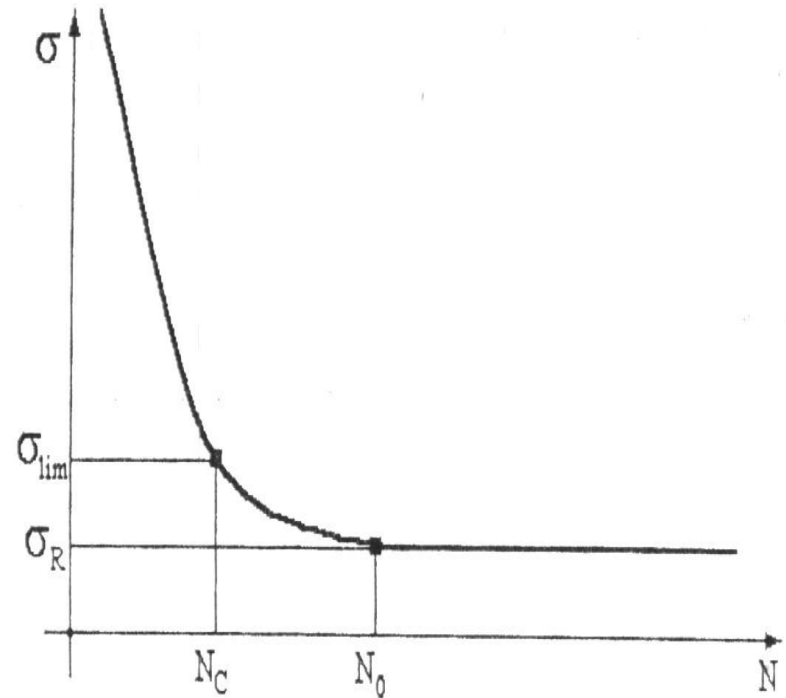
$$[\sigma_{-1}] = \frac{\sigma_{-1}}{[n]} \frac{H}{\text{мм}^2};$$

Под действием переменных напряжений материалы разрушаются при напряжениях, меньших не только предела прочности, но и предела текучести. Способность материала воспринимать переменные напряжения без разрушения называется циклической прочностью и выносливостью. Механической характеристикой циклической прочности служит **предел выносливости.**

**Предел выносливости** – это наибольшее напряжение цикла, которое с заданной вероятностью неразрушения может выдержать деталь или образец при практически неограниченном числе циклов нагружения.

# Предел выносливости .

- Величину предела выносливости определяют построением экспериментальных кривых усталости в координатах  $\sigma - N$ , где  $\sigma$  – максимальное нагружение цикла,  $N$  – число циклов нагружения до разрушения



Продолжительность одного цикла изменения напряжения  
- период  $T$ , с:

$$T = 2\pi/\omega = 60/n.$$

Общее число циклов  $N$  за промежуток времени  $L_{нч}$

$$N = 3600 \cdot L_{нч}/T = 573 \cdot \omega \cdot L_{нч} = 60 \cdot n \cdot L_{нч}.$$

# Жесткость

- Жесткостью называется способность деталей сопротивляться изменению их формы под действием приложенных к ним нагрузок. Расчет на жесткость предусматривает ограничение упругих деформаций деталей в пределах, допустимых для конкретных условий работы:

$$y \leq [y].$$

# Износостойкость

- Большинство деталей машин выходят из строя из-за износа. Изнашивание представляет собой процесс постепенного уменьшения размеров и изменения формы поверхности деталей в результате трения. Интенсивность изнашивания зависит от величины давления на поверхности соприкосновения и скорости скольжения, а также от величины коэффициента трения и износостойкости материала детали. Для повышения износостойкости деталей используют смазку трущихся поверхностей, применяют антифрикционные материалы, защищают трущиеся поверхности от абразивных частиц.

# Теплостойкость

При работе машины происходит тепловыделение, которое может привести к вредным последствиям:

- снижение прочности материала (ползучесть);
- потеря смазочных свойств смазок и, в связи с этим, увеличение интенсивности изнашивания;
- уменьшение зазоров в сопряжениях, которое может привести к заклиниванию;
- снижение точности работы машины или механизма.

Для предотвращения этих последствий проводят тепловой расчет, при котором определяется температура узла и сравнивается с допустимой:

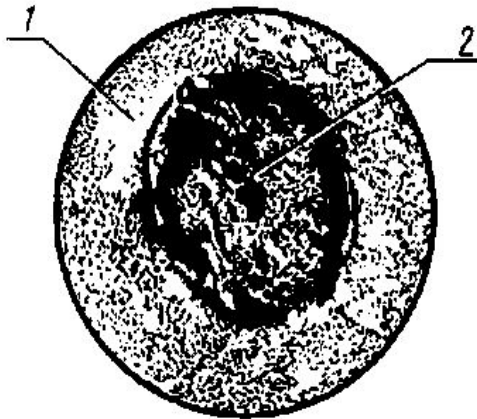
$$t \leq [t].$$

# Виброустойчивость

- Виброустойчивость – это способность конструкции работать в полном диапазоне режимов без недопустимых колебаний. Расчет производят для быстроходных систем с целью предохранения их от явления резонанса.



# Усталость материалов деталей машин



1- зона усталостного разрушения с гладкой притертой поверхностью, усталостная трещина постепенно проникала в глубь сечения,

2- зона статического разрушения крупнокристаллического строения, по которому произошло хрупкое разрушение

Опыты показывают, что детали машин, длительное время подвергавшиеся действию переменных напряжений, разрушаются при напряжениях, значительно меньших, чем временное сопротивление (предел прочности).

- Разрушение при циклическом нагружении происходит вследствие возникновения микротрещин в зоне концентраций напряжений. В процессе работы трещины постепенно развиваются, проникая вглубь, поперечное сечение детали ослабляется и в некоторый момент происходит мгновенное разрушение.
- Под усталостью понимают процесс постепенного накопления повреждений материала под действием переменных напряжений, приводящих к изменению свойств, образованию трещин, их развитию и разрушению.

# Местные напряжения в деталях машин

## Влияние размеров.

Чем больше абсолютные размеры поперечного сечения детали, тем меньше предел выносливости, так как в большей степени проявляется неоднородность механических свойств и существование внутренних структурных дефектов металла (раковин, шлаковых включений на границах зерен и др.). Это учитывают коэффициентом влияния абсолютных размеров поперечного  $K_d$  и

## Влияние формы.

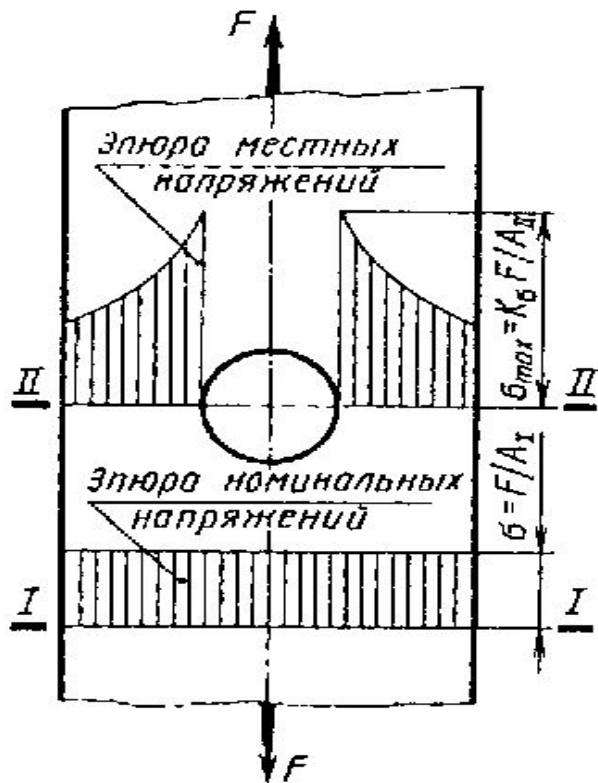
В местах резкого изменения формы поперечного сечения или нарушения сплошности материала (в резьбе, у канавок, выточек, отверстий) напряжения больше номинальных.

Явление увеличения напряжений в местах изменения формы или нарушения целостности материала называют *концентрацией напряжений*.

Местные напряжения быстро убывают по мере удаления от *концентратора*, их вызвавшего. Многократные изменения напряжений в зоне концентратора напряжений приводят к более раннему образованию трещины с последующим усталостным разрушением.

Влияние формы детали на предел выносливости учитывают эффективным коэффициентом концентрации напряжений.

$$K_\sigma / K_d$$



Эпюры напряжений.

### Влияние качества обработки поверхности.

С увеличением шероховатости поверхности детали предел выносливости понижается. При переменных напряжениях первичные усталостные микротрещины возникают обычно в поверхностном слое. Этому способствует наличие следов инструмента (резца, шлифовального круга) после механической обработки, являющихся концентраторами напряжений.

**Влияние упрочнения поверхности.** Для повышения несущей способности деталей используют разные способы поверхностного упрочнения: цементацию, поверхностную закалку токами высокой частоты (ТВЧ), деформационное упрочнение (наклеп) накаткой роликами или дробеструйной обработкой. Упрочнение поверхности детали значительно повышает предел выносливости, что и учитывают коэффициентом влияния поверхностного упрочнения

# Коэффициенты снижения предела выносливости

$$K_{\sigma Д} = \left( \frac{K_{\sigma}}{K_d} + \frac{l}{K_{F\sigma}} - 1 \right) \frac{l}{K_v};$$

$$K_{\tau Д} = \left( \frac{K_{\tau}}{K_d} + \frac{l}{K_{F\tau}} - 1 \right) \frac{l}{K_v}.$$

Пределы выносливости детали в рассматриваемом сечении:

$$\sigma_{-1Д} = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma Д}}; \quad \tau_{-1Д} = \frac{\tau_{-1}}{K_{\tau Д}},$$