

Основные понятия об усталости металлов

Предел выносливости

Преобладающая часть деталей машин и различных механизмов в процессе эксплуатации работает в условиях **переменных напряжений**

При переменных напряжениях *разрушение* деталей происходит при напряжениях, значительно **меньших** *предела прочности*, а в ряде случаев и **предела текучести** материала

Усталость - процесс постепенного накопления повреждений в материале под действием переменных напряжений и деформаций

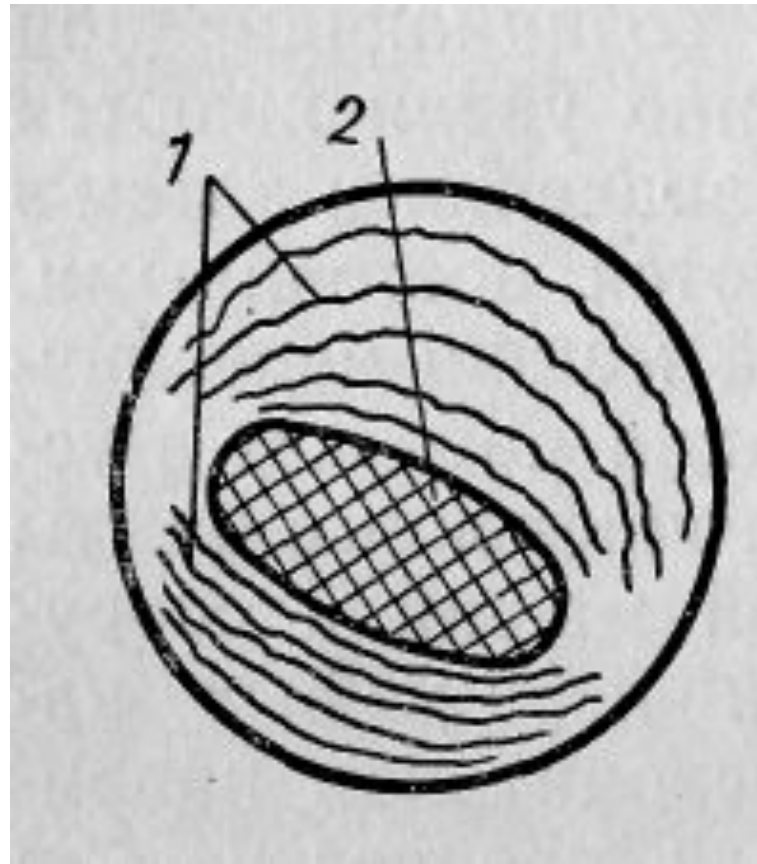
Разрушение происходит путем **зарождения** и **распространения трещины**, которая после достижения некоторого критического размера становится неустойчивой и быстро увеличивается, вызывая разрушение

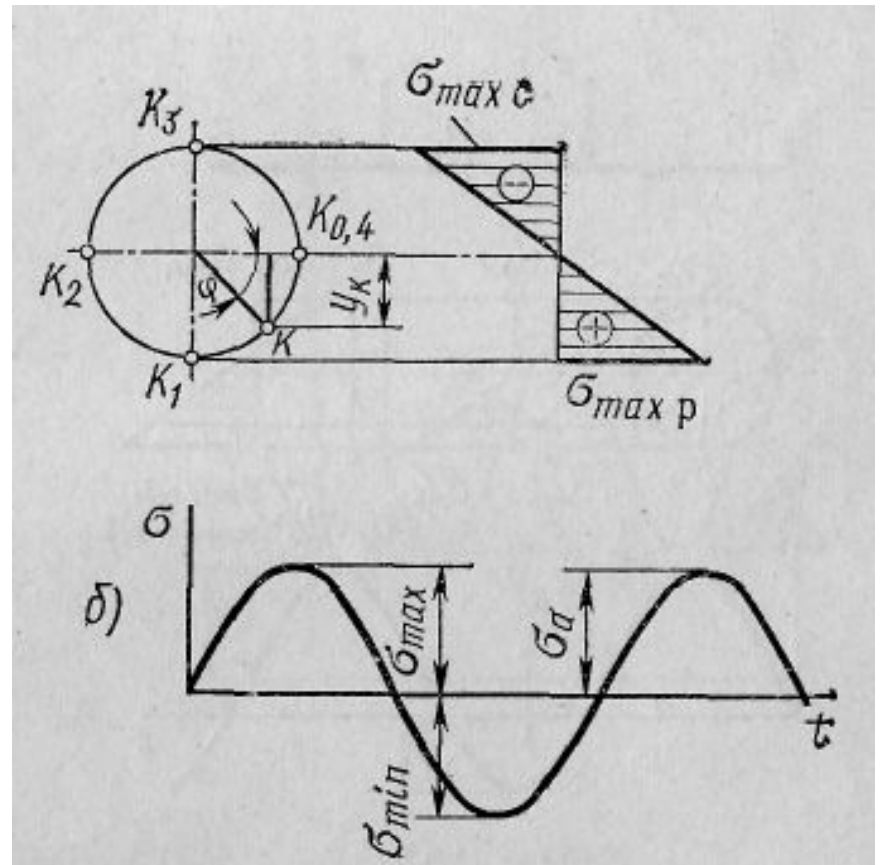
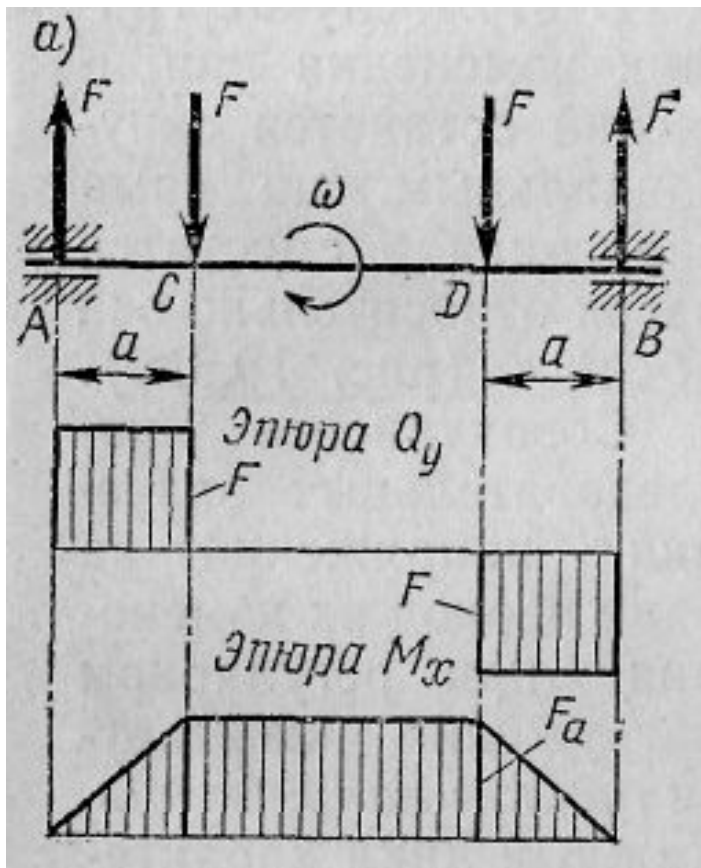
*Нагрузки и деформации, при которых обычно происходит усталостное разрушение, **намного ниже** тех, которые приводят к разрушению в **статических условиях.***

Когда разрушение происходит
более чем через
10000 циклов, явление обычно
называется ***многоцикловая
усталость***

Если разрушение происходит
менее чем через 10000
циклов - ***малоцикловая
усталость***

Название объясняется тем, что долгое время существовало мнение, будто под влиянием переменных напряжений металл «устает» и вместо пластичного становится хрупким





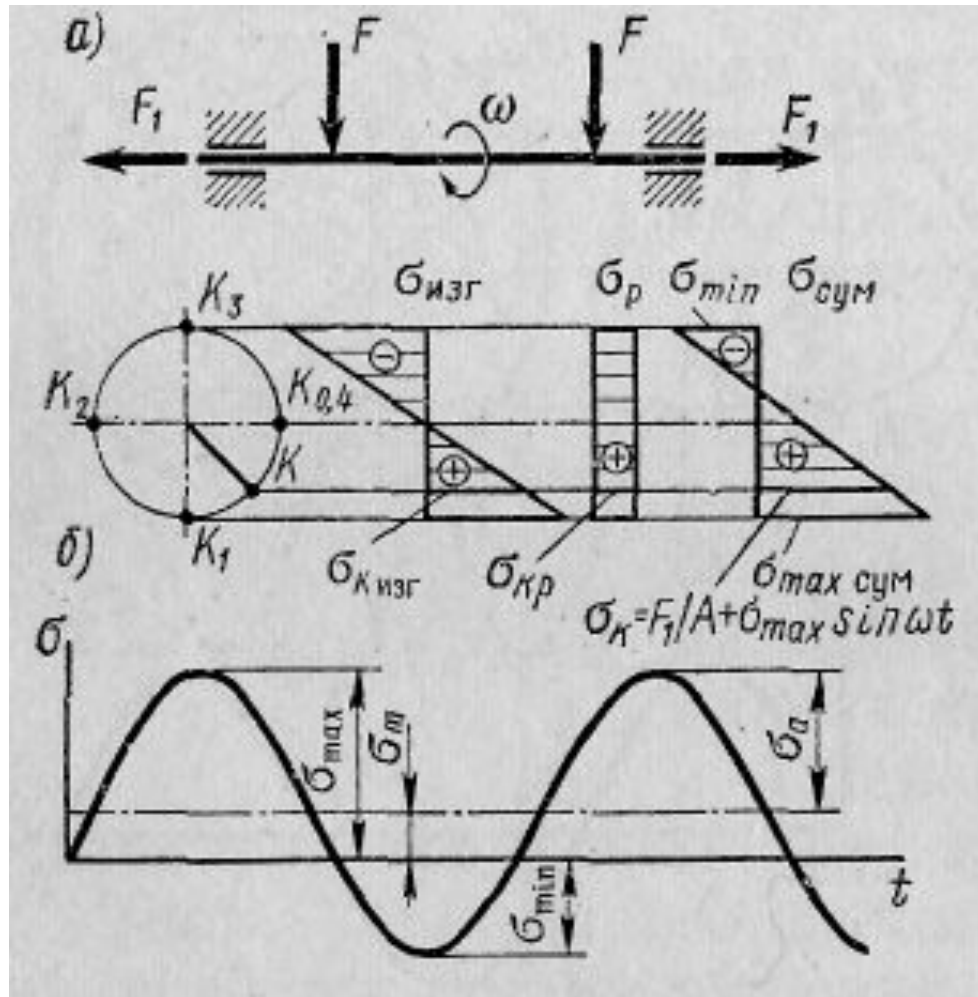
$$\sigma = \frac{M_x \cdot y}{J_x}$$

$$\sigma_K = \frac{M_x \cdot d}{2J_x} \sin \omega t$$

Цикл напряжений

Совокупность последовательных значений напряжений за один период их изменения при регулярном нагружении

Параметры цикла



$$\sigma_m = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min})/2 \text{ ИЛИ } \tau_m = (\tau_{\max} + \tau_{\min})/2.$$

$$\sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})/2 \text{ ИЛИ } \tau_a = (\tau_{\max} - \tau_{\min})/2.$$

Коэффициент асимметрии цикла напряжений

$$R_{\sigma} = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}; \quad R_{\tau} = \tau_{\min} / \tau_{\max}.$$

Для симметричного цикла
коэффициент асимметрии

$$R_{\sigma} = \sigma_{\min} / \sigma_{\max} = -1,$$

для отнулевого

$$R_{\sigma} = 0,$$

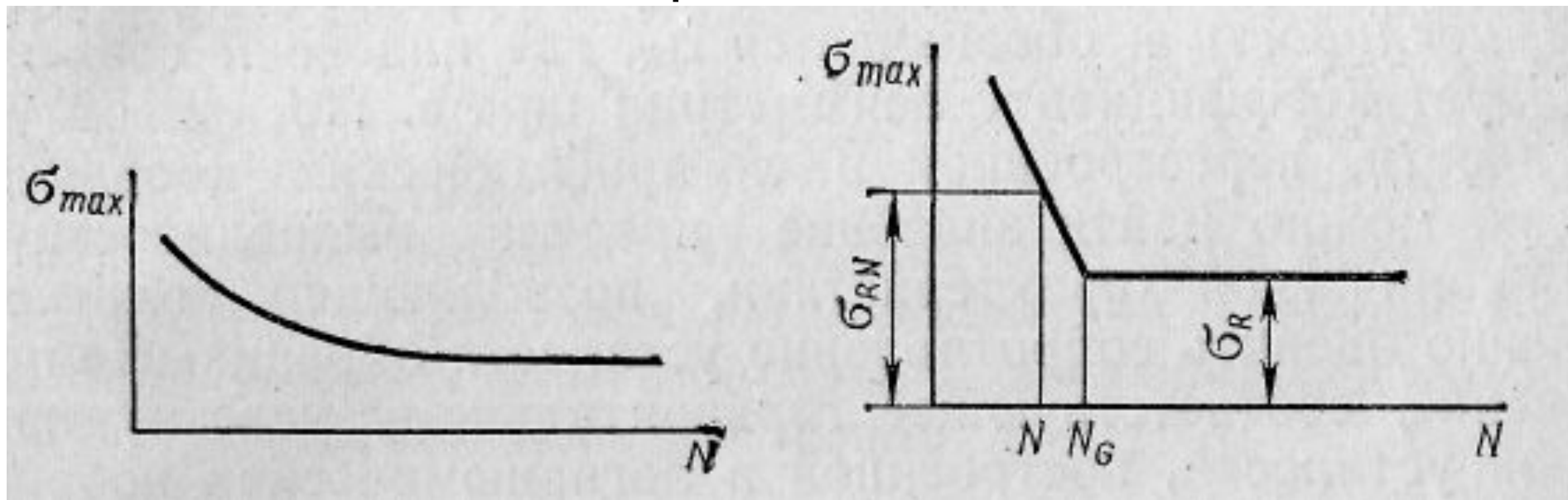
Испытания на усталость

Проводятся с целью получения механической характеристики, количественно характеризующую способность материала сопротивляться усталостному разрушению.

Наиболее распространены испытания на изгиб при симметричном цикле изменения напряжений

Кривая усталости

- По результатам испытания строят кривую зависимости числа циклов нагружений до разрушения от максимального напряжения, создаваемого в образце



Максимальное по абсолютному значению напряжение цикла, при котором еще не происходит усталостного разрушения до базы испытания, называется пределом выносливости и обозначается σ_R

*Индекс R
соответствует
коэффициенту асимметрии цикла*

При отсутствии опытных данных о значениях предела выносливости их вычисляют по известным значениям пределов прочности по следующим приближенным эмпирическим соотношениям:

для сталей

$$\sigma_{-1} \approx (0,4 \dots 0,5) \sigma_{нч}$$

для цветных металлов

$$\sigma_{-1} = (0,25 \dots 0,5) \sigma_{нч}$$

для серого чугуна

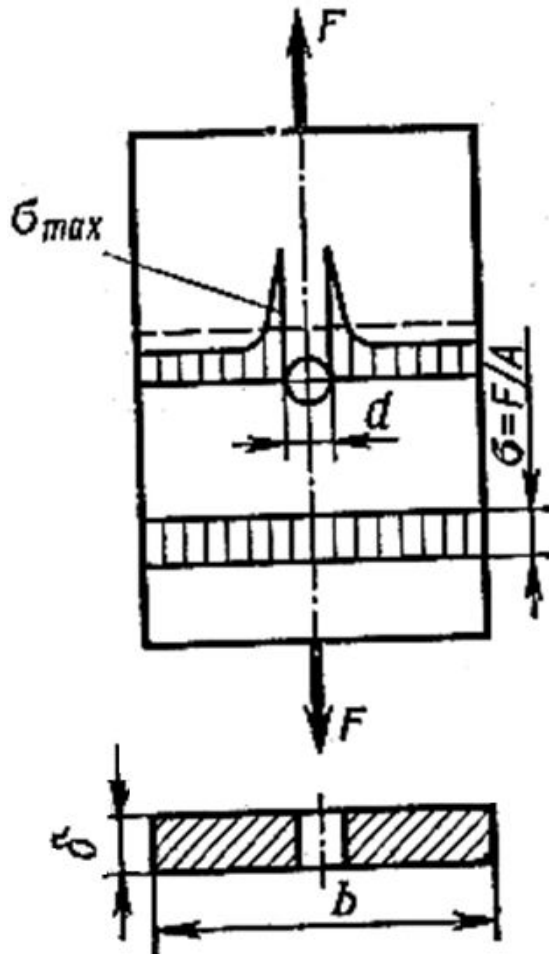
$$\sigma_{-1} = 0,45 \sigma_{нчр}$$

**Факторы,
влияющие на снижение
предела выносливости материалов**

Концентрация напряжений – явление повышения напряжений по сравнению с номинальными

Наблюдается в тех местах детали, где имеются отверстия, выточки, переходы от одних размеров и форм сечений к другим,
какие-либо внутренние или внешние пороки в материале, а также в зоне контакта деталей

Теоретический коэффициент концентрации напряжений



Отношение
максимального
нормального
напряжения в
зоне
концентрации к
номинальному

$$\alpha_{\sigma} = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{НОМ}}$$

Состав материала

Сплавы на основе железа и титан имеют достаточно ярко выраженный предел усталости, который выявляется по прошествии 10^7 циклов напряжения.

**Сплавы цветных металлов
практически не имеют предела
усталости**

Размер и направление зерен

Мелкозернистые материалы обладают более высокими усталостными характеристиками по сравнению с крупнозернистыми материалами того же самого химического состава

Влияние состояния поверхности

Значительная часть усталостных повреждений зарождается на поверхности элемента машины или конструкции, в связи с чем *условия обработки поверхности являются одним из важнейших факторов, определяющих усталостную прочность*

Масштабный эффект

Опыт показывает:

чем **больше**

по размеру
образцы или
детали,

тем **меньше** их

усталостная
прочность

Возможным объяснением этого может служить то, что вероятность наличия концентраторов напряжений или зародышей усталостных повреждений в больших образцах по сравнению с малыми больше, поскольку больше их объем и площадь поверхности

Коррозия

В коррозионных
средах
усталостная
прочность
материалов
снижается

*Наличие слоя дистиллированной
воды у поверхности многих
материалов, включая обычные
конструкционные стали,
может так понизить величину
усталостной прочности, что
она будет составлять **менее
двух третей** от усталостной
прочности сухого материала*

Фреттинг

Фреттинг - повреждение поверхности в местах соединения или контакта деталей при циклическом движении их относительно друг друга с малой амплитудой

Иногда при фреттинге величина усталостной прочности может уменьшиться до одной трети или менее ее величины при отсутствии фреттинга

De Havilland Comet

первый в мире коммерческий реактивный
авиалайнер



Первый
серийный
самолёт
поднялся
в небо
9 января
1951 года

Катастрофы Комет

10 января и 8 апреля 1954 случились две катастрофы над Средиземным морем.

Причина:

технология крепления
квадратных иллюминаторов
методом клепки

Возникала микроскопическая трещина,
которая со временем (и числом полетов)
увеличивалась
и в конце концов приводила
к разрушению всего фюзеляжа