

Конструкционная прочность материалов

Конструкционная прочность – это комплекс механических свойств, обеспечивающих надёжную и длительную работу материала в условиях эксплуатации.

Критерии её оценки: прочность,
надёжность,
долговечность.

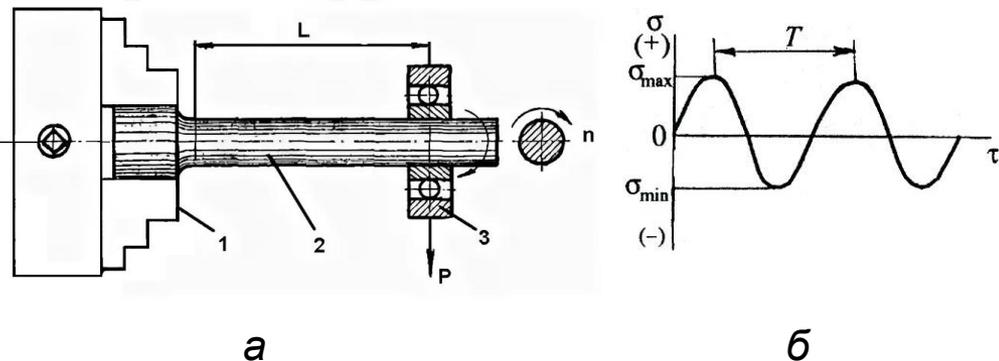
Критерии прочности

1) При *статических нагрузках* критериями прочности являются **предел текучести** σ_T (или $\sigma_{0.2}$) и **предел прочности** σ_B . Они характеризуют сопротивление металла пластической деформации. Несущую способность обычно определяют по пределу текучести. Приблизительно можно оценить прочность, зная твёрдость по Бринеллю (для стали $\sigma_B \approx HB/3$).

Критерии прочности

2) При *циклических нагрузках* за критерий прочности принимается **предел выносливости σ_{-1}** .

Рис. 1. Испытание на усталость:
а – схема нагружения образца
б – циклическое изменение напряжения σ в образце



Чем выше прочность, тем больше допустимое рабочее напряжение σ_p и меньше размеры и масса изделия.

3) Но иногда приходится учитывать и другие факторы:

а) Так как упругая деформация не должна превышать какую-то допустимую величину $\epsilon_{упр} = \sigma/E$, то часто размеры изделий определяются критериями жёсткости, а не прочности, то есть величиной **модуля Юнга** (модуля нормальной упругости) E .

Бывает и наоборот: пружины должны иметь большую упругую деформацию, поэтому у материала должен быть высокий предел упругости σ_y , но низкий модуль Юнга E .

б) Для авиационной и космической техники важны удельные характеристики: **удельная прочность $\sigma_v/\rho \cdot g$** и **удельная жёсткость $E/\rho \cdot g$** .

в) За критерии прочности должны приниматься значения характеристик, определённые при рабочих температурах и в эксплуатационных средах.

Критерии надёжности

Надёжность, т. е. способность противостоять хрупкому разрушению, очень важна при оценке конструкционной прочности, так как внезапный отказ является самым опасным при работе изделия. Он ведет к тяжёлым авариям.

Характеристики пластичности δ и ψ и ударная вязкость KCU позволяют оценить надёжность лишь приблизительно.

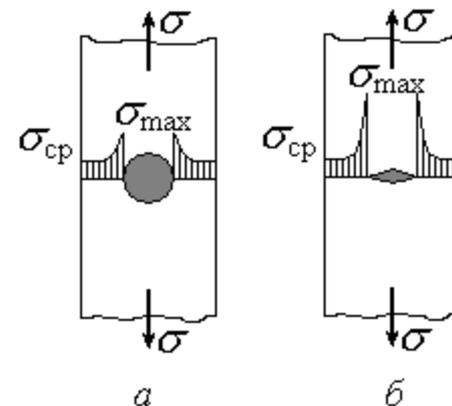
Поэтому надо учитывать **трещиностойкость**, или **вязкость разрушения** – способность материала тормозить развитие трещины.

Трещины являются концентраторами напряжений: в вершине трещины напряжение может быть намного выше среднего (рис. 2). Чем длиннее трещина и острее её вершина, тем она опаснее:

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\text{ср}} \cdot 2\sqrt{l/r},$$

где l – длина, r – радиус трещины.

Рис. 2. Концентрация напряжений вблизи трещины с большим (а) и малым (б) радиусом



Критерии надёжности

Пластичный материал деформируется у вершины трещины, и напряжения снижаются; плотность дислокаций увеличивается, и затупляет трещину.

В хрупком материале при увеличении $\sigma_{\text{ср}}$ локальные напряжения σ_{max} могут превысить $\sigma_{\text{в}}$, и тогда начинается разрыв межатомных связей и рост трещины.

K_{1C} – **вязкость разрушения**, характеристика сопротивления развитию вязкой трещины. Иначе говоря, это и есть **трещиностойкость**, позволяющая оценить надёжность материала.

$$K_{1C} = \sigma_{\text{ср}} \cdot \sqrt{\alpha \cdot \pi \cdot l_{\text{кр}}} \text{ [МПа} \cdot \text{мм}^{1/2}\text{]},$$

где α – безразмерный коэффициент, характеризующий геометрию трещины.

Вязкость разрушения – расчётный параметр, дополняющий σ_{02} и E . Она позволяет определить безопасный размер трещины $l_{\text{кр}}$ при известном $\sigma_{\text{ср}}$ или безопасное рабочее напряжение $\sigma_{\text{р}}$ при известном размере дефекта.

Ударная вязкость KCV и KCT , а также порог хладноломкости t_{50} – это лишь качественные параметры, они для расчётов не используются, но учитываются при выборе материала для особо ответственных конструкций

(летательных аппаратов, сосудов давления, трубопроводов, роторов турбин). Если $KCT = 0$, то разрушение идет без затрат энергии.

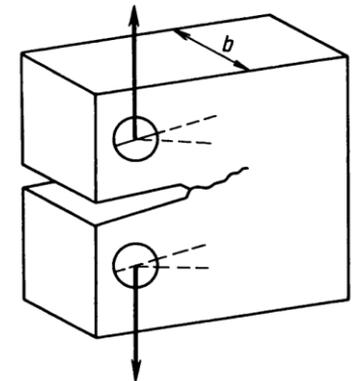


Рис. 3. Образец для определения вязкости разрушения

Критерии долговечности

Постепенный отказ развивается в результате постепенного накопления необратимых повреждений, ведущих к разрушению. Он не создает угрозы аварийных последствий, позволяет проводить плановую замену деталей. К постепенному отказу приводят процессы усталости, износа, ползучести, коррозии.

Долговечный материал должен иметь допустимую скорость разрушения, не превышающую заданную.

К постепенному отказу деталей машин часто приводит развитие усталостной трещины. Для получения критериев циклической долговечности проводят испытания на усталость. По результатам строят *кривую усталости* (рис. 4): зависимость между максимальным напряжением цикла и числом циклов нагружений (в логарифмических координатах).

Из этой кривой можно определить не только предел выносливости σ_{-1} , но и **циклическую долговечность** – число циклов, которое материал выдерживает до разрушения при заданном напряжении. (При максимальном напряжении цикла, меньшем предела выносливости σ_{-1} , долговечность неограниченная.)

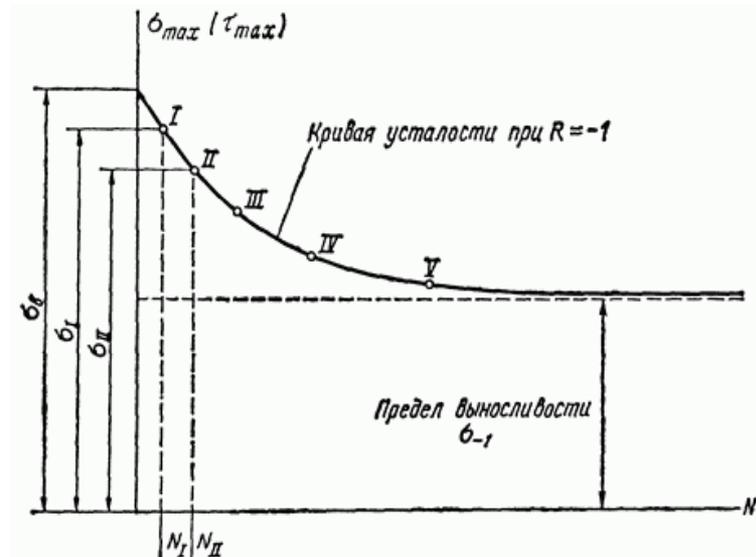


Рис. 4. Кривая усталости

Критерии долговечности

Износостойкость характеризует сопротивление материала разрушению поверхности путём отделения его частиц под воздействием силы трения. Износостойкость оценивают величиной, обратной скорости изнашивания.

Долговечность деталей, работающих при высоких температурах (детали энергетических установок, реактивных двигателей), определяется **скоростью ползучести** – скоростью развития пластической деформации при постоянном напряжении (ниже предела текучести). Ограничение скорости ползучести достигается применением жаропрочных материалов.

Долговечность деталей, работающих в агрессивных средах, газовых или жидких, зависит от **скорости химической** или **электрохимической коррозии**. Работоспособность в таких средах сохраняют жаростойкие и коррозионно-стойкие материалы.

Таким образом, работоспособность материала детали в условиях эксплуатации характеризуют следующие критерии конструкционной прочности:

- 1) критерии прочности σ_B , $\sigma_{0.2}$, σ_{-1}** , которые при заданном запасе прочности определяют допустимые рабочие напряжения, массу и размеры деталей;
- 2) модули упругости E и G** , которые при заданной геометрии детали определяют величину упругих деформаций, т. е. её жёсткость;
- 3) пластичность δ и ψ , ударная вязкость K_{CT} , K_{CV} , K_{CU} , вязкость разрушения K_{1C} , порог хладноломкости t_{50}** , которые оценивают надёжность материала в эксплуатации;
- 4) циклическая долговечность, скорость изнашивания, ползучести, коррозии**, определяющие долговечность материала.