

## 2.10. Механические испытания материалов. Характеристики прочности. Расчёты на прочность при простейших деформациях

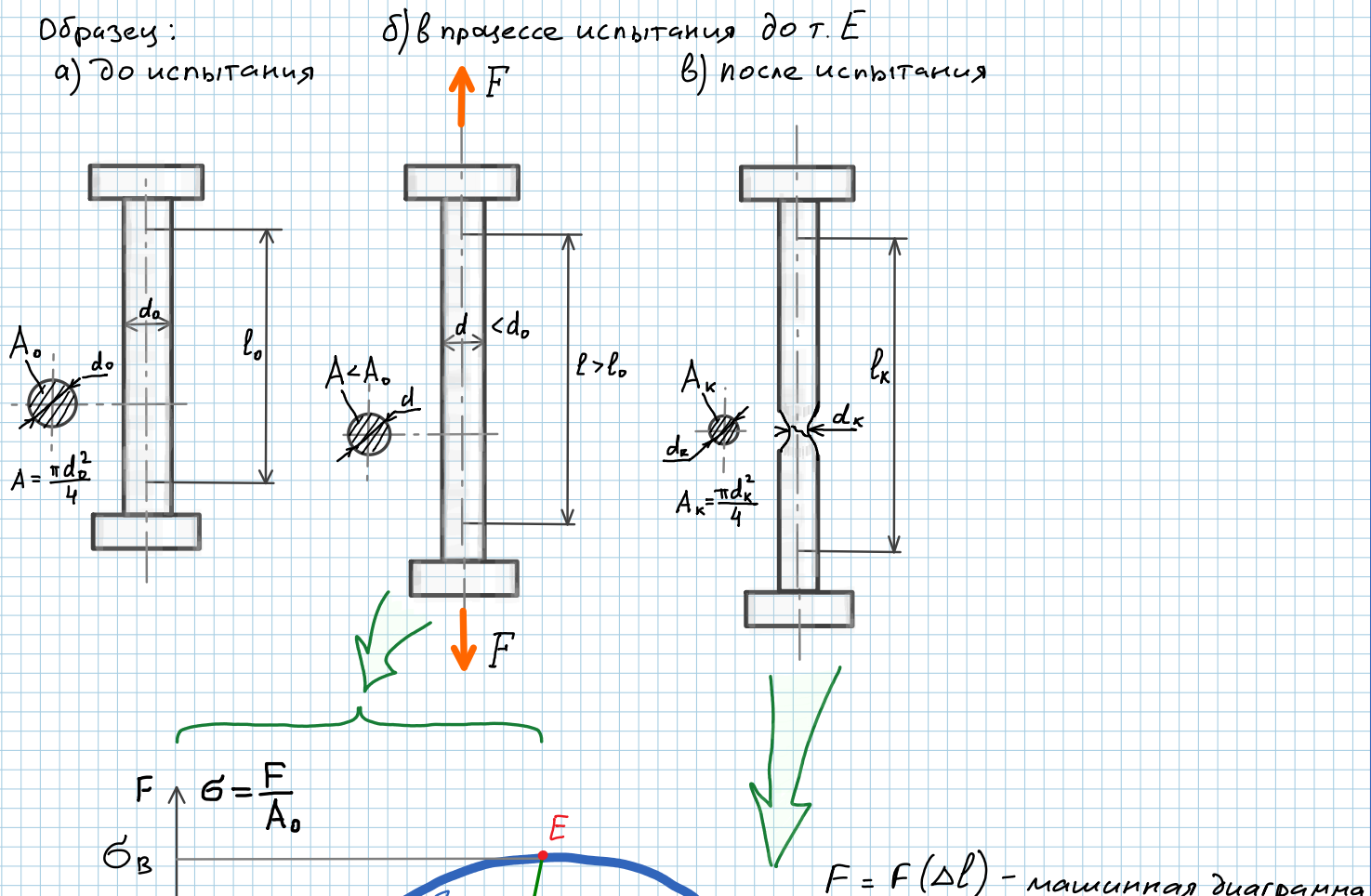
### 2.10.1. Механические испытания материалов

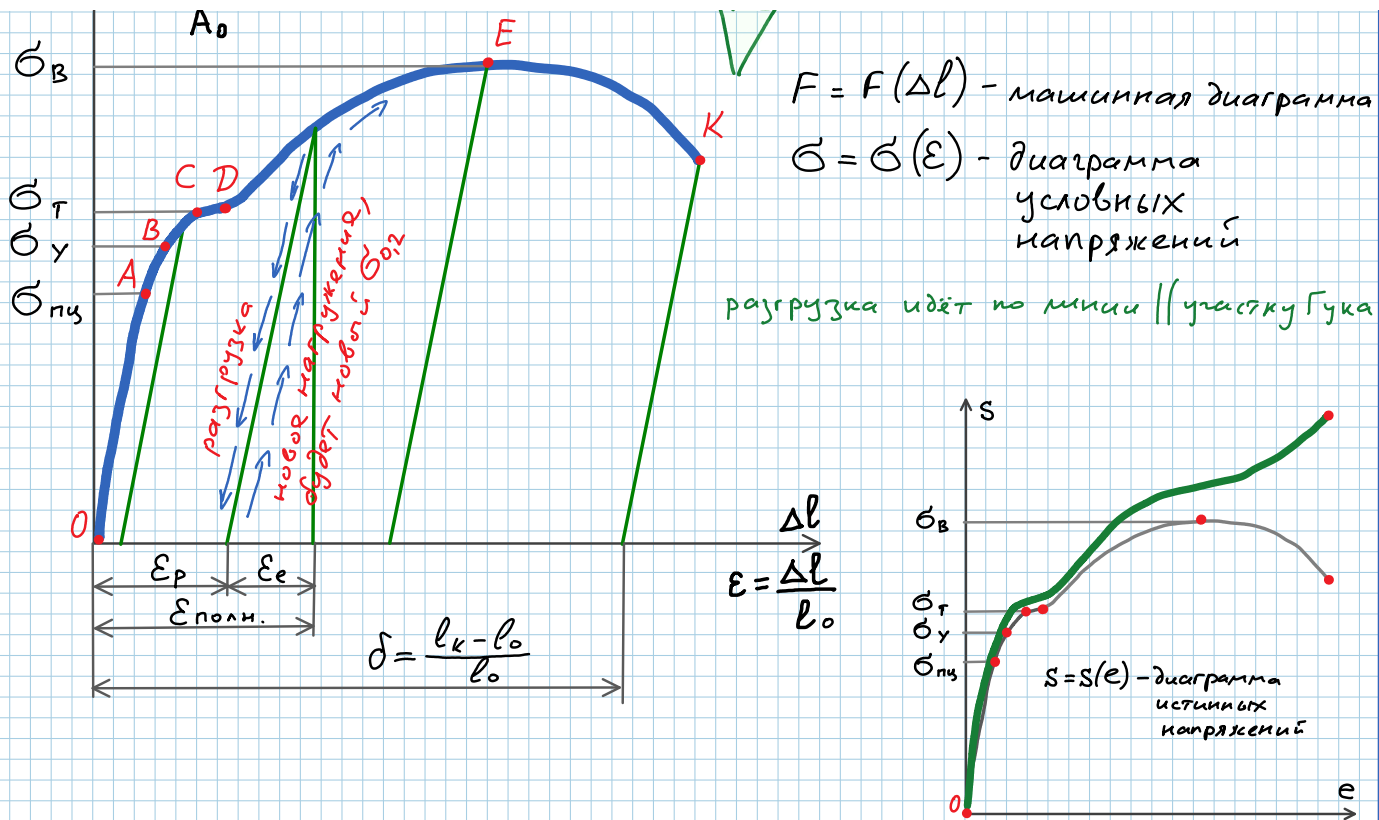
Поведение конструктивных материалов под нагрузкой можно изучить лишь экспериментальным путём. При этом определяются важные характеристики материала, которые используются затем при расчётах на прочность. Основной вид статических испытаний — испытания на растяжение.

Подробнее с испытаниями материалов можно ознакомиться в [16]: **Механические испытания материалов: учеб. пособие** / Жуков А.Е., Кипарисов А.Г., Миронов А.А., и др.; Нижегород. гос. техн. ун-т. - Н. Новгород : НГТУ, 2014. - 86 с. ISBN 978-5-502-00522-7.

Предыдущее издание данной книги можно скачать здесь: [https://sopro.nnewer.ru/sopro/uchebnye\\_materialy\\_po\\_soprotivleniyu\\_materialov.html](https://sopro.nnewer.ru/sopro/uchebnye_materialy_po_soprotivleniyu_materialov.html)

Образец из пластичного металла (конструкционной малоуглеродистой стали) растягиваем в испытательной машине. При этом строится т.н. машинная диаграмма растяжения — запись процесса в виде функции  $F = F(\Delta l)$





Важные точки и участки на диаграмме  $\sigma = \sigma(\epsilon)$ :

OA - участок Гука (пропорциональности, линейной упругости)

$\sigma_{пц}$  - предел пропорциональности - это...

AB - участок нелинейной упругости. При нагружении до т. B остаточных деформаций нет

$\sigma_y$  - предел упругости - это...

BC - участок упруго-пластических деформаций

$\sigma_t$  - предел текучести. По ГОСТ используем  $\sigma_{0,2}$

CD - площадка текучести

DE - участок <sup>деформационного</sup> упрочнения. Если здесь разгрузить образец, новое нагружение пойдет по траектории разгрузки -  $\sigma_{0,2}$  будет выше. Это явление называется "наклёп".

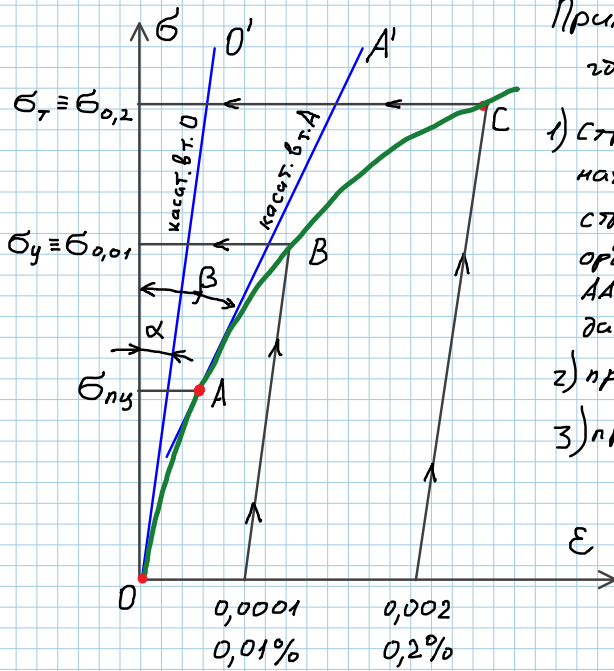
$\sigma_B = \frac{F_{max}}{A_0}$  - предел прочности (также называют временное сопротивление) - это максимальная нагрузка (напряжение), которую выдерживает образец (материал)

EK - участок формирования шейки

До т. E образец сохраняет цилиндрическую форму. После т. E в нём образуется местное утонение - шейка, в котором образец в конце концов разрывается

K - точки разрыва образца

Не для всех материалов можно по диаграмме одного определить характеристики



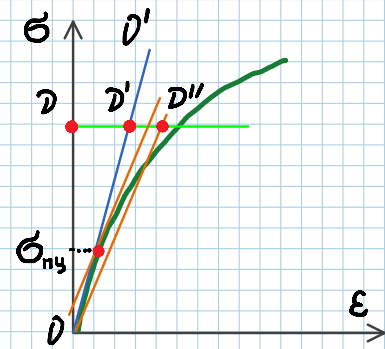
Пример. График нелинейный

где 1)  $\sigma_{пз}$ , 2)  $\sigma_y$ , 3)  $\sigma_T$ ?

- 1) строим касат. в т.  $O$ ,  $\angle \alpha$   
находим  $\operatorname{tg} \beta = \frac{3}{2} \operatorname{tg} \alpha \rightarrow \angle \beta$   
строим линию под  $\angle \beta$  ( $AA'$ )  
ордината точки касания  $AA'$  и диаграммы

- Или (то же самое) к диагр.
- 1- строим касат.  $DD'$
  - 2- проводим отрезок  $DD'$
  - 3- строим  $D'D'' = \frac{DD'}{2}$
  - 4- строим  $OD''$
  - 5- строим касат. к диагр.  $// OD''$ . Точка касания -  $\sigma_{пз}$

- 2) при  $\epsilon = 0,01\%$   $\rightarrow \sigma_{0,01} \equiv \sigma_y$  - усл. предел упругости
- 3) при  $\epsilon = 0,2\%$   $\rightarrow \sigma_{0,2} \equiv \sigma_T$  - усл. предел текучести



### Характеристики прочности

$\sigma_T, \sigma_B$  - для пластичного материала

$\sigma_B$  - для хрупкого материала

### Характеристики пластичности

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100\% \text{ - относительное удлинение при разрыве}$$

$\delta < 5\%$  - хрупкий материал,

$\delta \geq 5\%$  - пластичный

$$\psi = \frac{A_0 - A_k}{A_0} \cdot 100\% \text{ - относительное сужение при разрыве}$$

### Предельные напряжения

$\sigma_T$  - для пластичного материала, т.к. большие деф. и недопустимы

$\sigma_B$  - для хрупкого материала

### Допускаемые напряжения

Нельзя допускать возникновения предельных напряжений в конструкции. Поэтому вводится понятие допускаемых напряжений - это наибольшие напряжения, при которых обеспечивается прочность и долговечность конструкции.

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{пред}}{n}, \text{ где } n > 1 \text{ - коэффициент запаса прочности}$$

соотв. для металлов  $[\sigma] = \frac{\sigma_T}{n}$ ;  $n = 1,4 \div 1,6$  (1,25 ÷ 2,0) <sup>в машиностр-ч до</sup>

Соотв. для пласт. м-лов  $[\sigma]_T = \frac{\sigma_T}{n_T}$ ;  $n_T = 1,4 \div 1,6$  (1,25 ÷ 2,0) <sup>в машиностр-ч</sup>

для круп. м-лов  $[\sigma]_B = \frac{\sigma_B}{n_B}$ ;  $n_B = 2,5 \div 3,0$  (2,4 ÷ 5,0) <sup>до</sup>

Коэф-т запаса  $n$  д.б. min с т.зр. экономичности, но достаточным с т.зр. прочности, надёжности, долговечности. Чем меньше мы знаем о материале, условиях работы констр-ч, тем больше д.б. к-т запаса.

Можно встретить обознач-е для доп. напр-й  $\sigma_{adm}$  - от англ. admissible (= allowable)

$[\tau]$  - ?

Испытания на кручение, как правило, не проводят. Допускаемые касательные напряжения рассчитывают след. образом:

для пласт. материалов  $[\tau]_T = 0,5 \div 0,6 [\sigma]_T$  (см. гипотезы прочности)  
 для круп. материалов  $[\tau]_B = 0,7 \div 0,8 [\sigma]_B$

Подробнее о к-тах запаса - в курсе "Детали машины", а также в отраслевых нормах и стандартах: СНиП, ПНАЭ, РРР, РМРС, ГОСТ!

Итак напряжения в конструкции не должны превышать допускаемых - условие прочности.

Это можно записать как  $\sigma^{max} \leq [\sigma]$ , где  $\sigma$  - любое напр-е ( $\sigma$  и  $\tau$ ) (20-0)

## 2.10.2. Условия прочности при простейших видах нагружения

Кратко

1) Раст.-сжатие ОТОС - любая точка сечения  $\sigma_z^{max} = \frac{N_z^{max}}{A} \leq [\sigma]$  (20-1)

2) Круч-е ОТОС - точка на пов-ти круглой балки точка посередине длинной стороны (оси)  $\tau_z^{max} = \frac{M_z^{max}}{W_p(x)} \leq [\tau]$  (20-2)

3) Изгиб ① ОТОС по норм.напр. наиболее удаленные от НО точки в статой и раст. частях сеч-я  $\sigma_z^{max} = \frac{M_z^{max}}{W_x} \leq [\sigma]$  (20-3)

② ОТОС по касат напр-ям для симметричных отнх хориз. и верт. осей сечений - середины высот  $\tau_z^{max} = \frac{Q_y^{max} \sigma_x^{max}}{J_x b_y^{min}} \leq [\tau]$  (20-4)

Точки между ① и ② находятся в неоднородном напр. сост-и (ПНС). Оценить прочность при неоднор. сост-и научимся позже.

Но для удобства известно (на осн. экспер-ти и расчётов), что если выполняется усл-е прочности для т. ①, выполняются усл-е прочности и для остальных точек сеч-я. Т.е. расчёты на прочность при изгибе выполняют по ф-ле (21-3)

На основе условий (20-1) - (20-3) можно решить 3 типа задач:

Условие в общем виде:  $\text{напр-е} = \frac{\text{нагрузка}}{\text{хар-ка сеч-я}} \leq \text{доп. напр-е}$

Отсюда

1 тип - оценка прочности, т.е. проверка выполнения неравенств (20-1) - (20-3)

2 тип - опред-е безопасной нагрузки.

$$\text{нагрузка} \leq (\text{хар-ка сеч-я}) \cdot (\text{доп. напр-е})$$

3 тип - опред-е р-ра шир. сеч-я на стадии проектир-я.

$$\text{хар-ка сеч-я} \geq \frac{\text{нагрузка}}{\text{доп. напр-е}}$$