

## ЛЕКЦИЯ 20

## Тема 2.2. Растяжение и сжатие. Внутренние силовые факторы, напряжения. Построение эпюр

*Иметь представление о продольных силах, о нормальных напряжениях в поперечных сечениях.*

*Знать правила построения эпюр продольных сил и нормальных напряжений, закон распределения нормальных напряжений в поперечном сечении бруса.*

*Уметь строить эпюры продольных сил и нормальных напряжений*

### Растяжение и сжатие

*Растяжением или сжатием называют вид нагружения, при котором в поперечном сечении бруса возникает только один внутренний силовой фактор — продольная сила.*

*Продольные силы меняются по длине бруса. При расчетах после определения величин продольных сил по сечениям строится график — эпюра продольных сил.*

*Условно назначают знак продольной силы.*

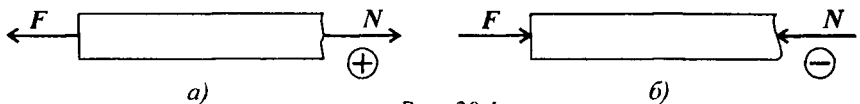


Рис. 20.1

*Если продольная сила направлена от сечения, то брус растянут. Растяжение считают положительной деформацией (рис. 20.1а).*

*Если продольная сила направлена к сечению, то брус сжат. Сжатие считают отрицательной деформацией (рис. 20.1б).*

### Примеры построения эпюры продольных сил

*Рассмотрим брус, нагруженный внешними силами вдоль оси. Брус закреплен в стене (закрепление «заделка») (рис. 20.2а).*

*Делим брус на участки нагружения.*

*Участком нагружения считают часть бруса между внешними силами.*

На представленном рисунке 3 участка нагружения.

Вспользуемся методом сечений и определим внутренние силовые факторы внутри каждого участка.

Расчет начинаем со свободного конца бруса, чтобы не определять величины реакций в опорах.

Участок 1:  $\sum F_z = 0$ ;  $-3F + N_1 = 0$ ;  $N_1 = 3F$ . Продольная сила положительна, участок 1 растянут.

Участок 2:  $\sum F_z = 0$ ;  $-3F + 2F + N_2 = 0$ ;  $N_2 = F$ . Продольная сила положительна, участок 2 растянут.

Участок 3:  $\sum F_z = 0$ ;  $-3F + 2F + 5F - N_3 = 0$ ;  $N_3 = 4F$ . Продольная сила отрицательна, участок 3 сжат. Полученное значение  $N_3$  равно реакции в заделке.

Под схемой бруса строим эпюру продольной силы (рис. 20.26).

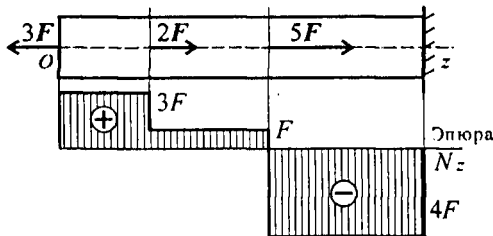


Рис. 20.26

В пределах одного участка значение силы не меняется, поэтому эпюра очерчивается отрезками прямых линий, параллельными оси  $Oz$ .

Правило контроля: в месте приложения внешней силы на эпюре должен быть скачок на величину приложенной силы.

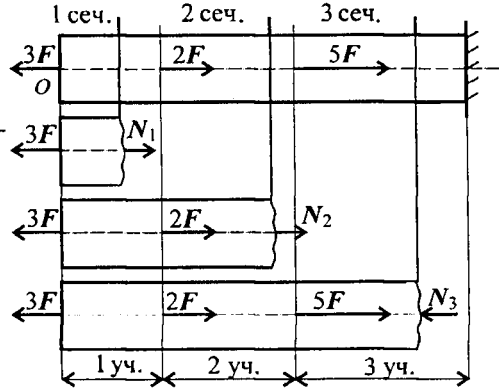


Рис. 20.2a

Эпюрой продольной силы называется график распределения продольной силы вдоль оси бруса.

Ось эпюры параллельна продольной оси.

Нулевая линия проводится тонкой линией. Значения сил откладывают от оси, положительные — вверх отрицательные — вниз.

На эпюре проставляются значения  $N_z$ . Величины продольных сил откладываются в заранее выбранном масштабе.

Эпюра по контуру обводится толстой линией и заштриховывается *поперек* оси.

Изучая деформации при растяжении и сжатии, обнаруживаем, что выполняются *гипотеза плоских сечений* и *принцип смягчения граничных условий*.

*Гипотеза плоских сечений* заключается в том, что поперечное сечение бруса, плоское и перпендикулярное продольной оси, после деформации остается плоским и перпендикулярным продольной оси.

Следовательно, *продольные внутренние волокна удлиняются одинаково, а внутренние силы упругости распределены по сечению равномерно*.

*Принцип смягчения граничных условий* гласит: в точках тела, удаленных от мест приложения нагрузки, *модуль внутренних сил мало зависит от способа закрепления*. Поэтому при решении задач не уточняют способ закрепления.

### Напряжения при растяжении и сжатии

При растяжении и сжатии в сечении действует только нормальное напряжение.

Напряжения в поперечных сечениях могут рассматриваться как силы, приходящиеся на единицу площади.

Таким образом, *направление и знак напряжения в сечении совпадают с направлением и знаком силы в сечении* (рис. 20.3).

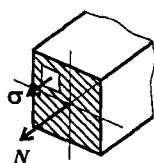


Рис. 20.3

Исходя из гипотезы плоских сечений, можно предположить, что напряжения при растяжении и сжатии в пределах каждого сечения не меняются. Поэтому напряжение можно рассчитать по формуле

$$\sigma = \frac{N_z}{A},$$

где  $N_z$  — продольная сила в сечении;  $A$  — площадь поперечного сечения.

*Величина напряжения прямо пропорциональна продольной силе и обратно пропорциональна площади поперечного сечения.*

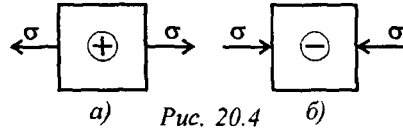
Нормальные напряжения действуют при растяжении от сечения (рис. 20.4а), а при сжатии к сечению (рис. 20.4б).

Размерность (единица измерения) напряжений — Н/м<sup>2</sup> (Па), однако это слишком малая единица, и практически напряжения рассчитывают в Н/мм<sup>2</sup> (МПа):  
 $1 \text{ МПа} = 10^6 \text{ Па} = 1 \text{ Н/мм}^2$ .

При определении напряжений брус разбивают на участки нагружений, в пределах которых продольные силы не изменяются, и учитывают места изменений площади поперечных сечений.

Рассчитывают напряжения по сечениям, и расчет оформляют в виде эпюры нормальных напряжений.

Строится и оформляется такая эпюра так же, как и эпюра продольных сил.



а) Рис. 20.4 б)

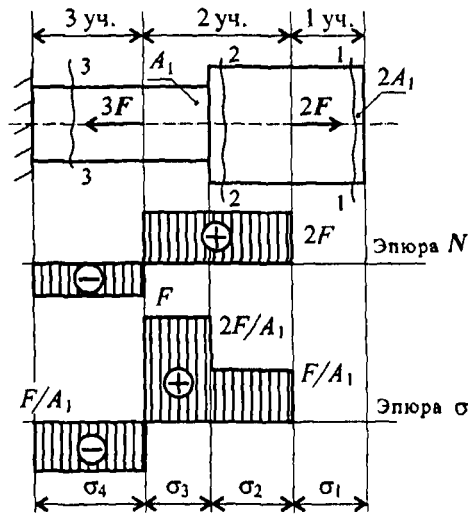


Рис. 20.5

Рассмотрим брус, нагруженный внешними силами вдоль оси (рис. 20.5).

Обнаруживаем три участка нагружения и определяем величины продольных сил.

Участок 1:  $N_1 = 0$ .  
 Внутренние продольные силы равны нулю.

Участок 2:  $N_2 = 2F$ .  
 Продольная сила на участке положительна.

Участок 3:  $N_3 = 2F - 3F = -F$ .  
 Продольная сила на участке отрицательна.

Брус — ступенчатый.

С учетом изменений величин площади поперечного сечения участков напряжений больше.

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{2A_1} = 0; \quad \sigma_2 = \frac{F}{A_1} \oplus, \quad \sigma_3 = \frac{2F}{A_1} \oplus; \quad \sigma_4 = \frac{-F}{A_1} \ominus.$$

Строим эпюры продольных сил и нормальных напряжений.

Масштабы эпюр могут быть разными и выбираются исходя из удобства построения.

### Примеры решения задач

Ступенчатый брус нагружен вдоль оси двумя силами. Брус зашпелен с левой стороны (рис. 20.6). Пренебрегая весом бруса, построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений.

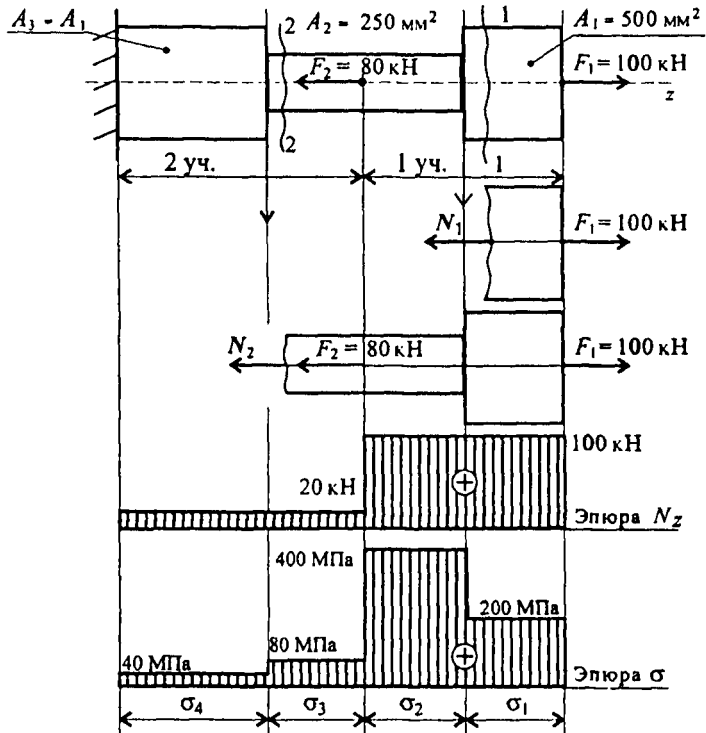


Рис. 20.6

### Решение

1. Определяем участки нагружения, их два.
2. Определяем продольную силу в сечениях 1 и 2.
3. Строим эпюру.
4. Рассчитываем величины нормальных напряжений и строим эпюру нормальных напряжений в собственном произвольном масштабе.

1. Определяем продольные силы.

$$\sum F_z = 0.$$

Сечение 1.  $-N_1 + F_1 = 0$ ;  $N_1 = F_1 = 100$  кН.

Сечение 2.  $-80 - N_2 + 100 = 0$ ;  $N_2 = 100 - 80 = 20$  кН.

В обоих сечениях продольные силы положительны.

2. Определяем нормальные напряжения  $\sigma = \frac{N_z}{A}$ .

Сопоставляя участки нагружения с границами изменения площади, видим, что образуется 4 участка напряжений.

Нормальные напряжения в сечениях по участкам:

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{A_1} = \frac{100 \cdot 10^3}{500} = 200 \text{ Н/мм}^2; \quad \sigma_2 = \frac{N_1}{A_2} = \frac{100 \cdot 10^3}{250} = 400 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_3 = \frac{N_2}{A_2} = \frac{20 \cdot 10^3}{250} = 80 \text{ Н/мм}^2; \quad \sigma_4 = \frac{N_2}{A_3} = \frac{20 \cdot 10^3}{500} = 40 \text{ Н/мм}^2.$$

Откладываем значения напряжений вверх от оси, т. к. значения их положительные (растяжение). Масштаб эпюр продольной силы и нормальных напряжений выбирается отдельно в зависимости от порядка цифр и имеющегося на листе места.

### Контрольные вопросы и задания

1. Какие внутренние силовые факторы возникают в сечении бруса при растяжении и сжатии?
2. Как распределяются по сечению силы упругости при растяжении и сжатии? (Использовать гипотезу плоских сечений.)
3. Какого характера напряжения возникают в поперечном сечении при растяжении и сжатии: нормальные или касательные?
4. Как распределены напряжения по сечению при растяжении и сжатии?
5. Запишите формулу для расчета нормальных напряжений при растяжении и сжатии.
6. Как назначаются знаки продольной силы и нормального напряжения?
7. Что показывает эпюра продольной силы?
8. Как изменится величина напряжения, если площадь поперечного сечения возрастет в 4 раза?
9. В каких единицах измеряется напряжение?

## ЛЕКЦИЯ 21

## Тема 2.2. Растяжение и сжатие. Продольные и поперечные деформации. Закон Гука

*Иметь представление о продольных и поперечных деформациях и их связи.*

*Знать закон Гука, зависимости и формулы для расчета напряжений и перемещений.*

*Уметь проводить расчеты на прочность и жесткость статически определимых брусьев при растяжении и сжатии.*

### Деформации при растяжении и сжатии

Рассмотрим деформацию бруса под действием продольной силы  $F$  (рис. 21.1).

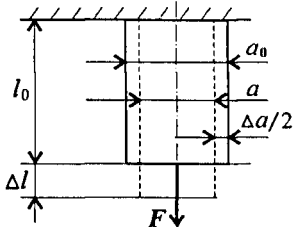


Рис. 21.1

Начальные размеры бруса:  $l_0$  — начальная длина,  $a_0$  — начальная ширина.

Брус удлиняется на величину  $\Delta l$ ;  $\Delta l$  — абсолютное удлинение. При растяжении поперечные размеры уменьшаются,  $\Delta a$  — абсолютное сужение;  $\Delta l > 0$ ;  $\Delta a < 0$ .

При сжатии выполняется соотношение  $\Delta l < 0$ ;  $\Delta a > 0$ .

В сопротивлении материалов принято рассчитывать деформации в относительных единицах:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}; \varepsilon \text{ — относительное удлинение;}$$

$$\varepsilon' = \frac{\Delta a}{a_0}; \varepsilon' \text{ — относительное сужение.}$$

Между продольной и поперечной деформациями существует зависимость

$$\varepsilon' = \mu \varepsilon,$$

где  $\mu$  — коэффициент поперечной деформации, или коэффициент Пуассона, — характеристика пластичности материала.

### Закон Гука

В пределах упругих деформаций деформации прямо пропорциональны нагрузке:

$$F = k\Delta l,$$

где  $F$  — действующая нагрузка;  $k$  — коэффициент.

В современной форме:

$$\sigma = \frac{N}{A}; \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}.$$

Получим зависимость  $\sigma = E\varepsilon$ , где  $E$  — модуль упругости, характеризует жесткость материала.

*В пределах упругости нормальные напряжения пропорциональны относительному удлинению.*

Значение  $E$  для сталей в пределах  $(2 \div 2,1) \cdot 10^5$  МПа.

При прочих равных условиях, чем жестче материал, тем меньше он деформируется:

$$\downarrow \varepsilon = \frac{\sigma}{E \uparrow}.$$

### Формулы для расчета перемещений поперечных сечений бруса при растяжении и сжатии

Используем известные формулы.

Закон Гука  $\sigma = E\varepsilon$ .

Откуда  $\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$ .

Относительное удлинение  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ .

В результате получим зависимость между нагрузкой, размерами бруса и возникающей деформацией:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E}; \quad \sigma = \frac{N}{A};$$

$$\Delta l = \frac{\sigma l}{E} \quad \text{или} \quad \Delta l = \frac{Nl}{AE},$$

где  $\Delta l$  — абсолютное удлинение, мм;

$\sigma$  — нормальное напряжение, МПа;



$l$  — начальная длина, мм;  
 $E$  — модуль упругости материала, МПа;  
 $N$  — продольная сила, Н;  
 $A$  — площадь поперечного сечения, мм<sup>2</sup>;  
 Произведение  $AE$  называют *жесткостью сечения*.

### Выводы

1. Абсолютное удлинение бруса прямо пропорционально величине продольной силы в сечении, длине бруса и обратно пропорционально площади поперечного сечения и модулю упругости.

2. Связь между продольной и поперечной деформациями зависит от свойств материала, связь определяется *коэффициентом Пуассона*, называемом *коэффициентом поперечной деформации*.

Коэффициент Пуассона: у стали  $\mu$  от 0,25 до 0,3; у пробки  $\mu = 0$ ; у резины  $\mu = 0,5$ .

3. Поперечные деформации меньше продольных и редко влияют на работоспособность детали; при необходимости поперечная деформация рассчитывается через продольную.

$$\epsilon' = \mu\epsilon; \quad \epsilon = \frac{\Delta a}{a_0}; \quad \text{откуда } \Delta a = \epsilon' a_0,$$

где  $\Delta a$  — поперечное сужение, мм;  $a_0$  — начальный поперечный размер, мм.

4. Закон Гука выполняется в зоне упругих деформаций, которая определяется при испытаниях на растяжение по диаграмме растяжения (рис. 21.2).

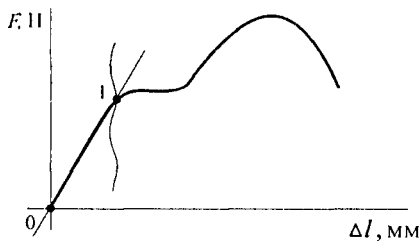


Рис. 21.2

При работе пластические деформации не должны возникать, упругие деформации малы по сравнению с геометрическими размерами тела. Основные расчеты в сопротивлении материалов проводятся в зоне упругих деформаций, где действует закон Гука.

На диаграмме (рис. 21.2) закон Гука действует от точки 0 до точки 1.

5. Определение деформации бруса под нагрузкой и сравнение ее с допустимой (не нарушающей работоспособности бруса) называют *расчетом на жесткость*.

### Примеры решения задач

Дана схема нагружения и размеры бруса до деформации (рис. 21.3). Брус зашцеилен, определить перемещение свободного конца.

#### Решение

1. Брус ступенчатый, поэтому следует построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений.

Делим брус на участки нагружения, определяем продольные силы, строим эпюру продольных сил.

2. Определяем величины нормальных напряжений по сечениям с учетом изменений площади поперечного сечения.

Строим эпюру нормальных напряжений.

3. На каждом участке определяем абсолютное удлинение. Результаты алгебраически суммируем.

**Примечание.** Балка зашцеилена, в заделке возникает *неизвестная реакция* в опоре, поэтому расчет начинаем со *свободного конца* (справа).

1. Два участка нагружения:  
участок 1:  $N_1 = +25 \text{ кН}$ ; растянут;

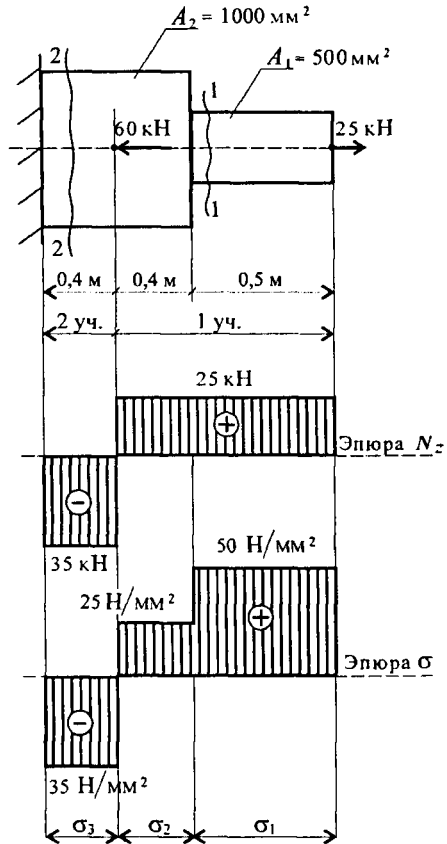


Рис. 21.3

участок 2:  $25 - 60 + N_2 = 0$ ;  $N_2 = -35$  кН; сжат.

2. Три участка по напряжениям:

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{A_1}; \quad \sigma_1 = \frac{25 \cdot 10^3}{500} = 50 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_2 = \frac{N_1}{A_2}; \quad \sigma_2 = \frac{25 \cdot 10^3}{1000} = 25 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_3 = \frac{N_2}{A_2}; \quad \sigma_3 = \frac{-35 \cdot 10^3}{1000} = -35 \text{ Н/мм}^2.$$

3. Удлинения участков (материал — сталь  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа):

$$\Delta l_1 = \frac{\sigma_1 l_1}{E}; \quad \Delta l_1 = \frac{50 \cdot 0,5 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5} = 0,125 \text{ мм};$$

$$\Delta l_2 = \frac{\sigma_2 l_2}{E}; \quad \Delta l_2 = \frac{25 \cdot 0,4 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5} = 0,05 \text{ мм};$$

$$\Delta l_3 = \frac{\sigma_3 l_3}{E}; \quad \Delta l_3 = \frac{-35 \cdot 0,4 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5} = -0,07 \text{ мм}.$$

4. Суммарное удлинение бруса (перемещение свободного конца).

$$\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3; \quad \Delta l = 0,125 + 0,05 - 0,07 = 0,105 \text{ мм}.$$

### Контрольные вопросы и задания

1. Стальной стержень длиной 1,5 м вытянулся под нагрузкой на 3 мм. Чему равно относительное удлинение? Чему равно относительное сужение? ( $\mu = 0,25$ .)

2. Что характеризует коэффициент поперечной деформации?

3. Сформулируйте закон Гука в современной форме при растяжении и сжатии.

4. Что характеризует модуль упругости материала? Какова единица измерения модуля упругости?

5. Запишите формулы для определения удлинения бруса. Что характеризует произведение  $AE$  и как оно называется?

6. Как определяют абсолютное удлинение ступенчатого бруса, нагруженного несколькими силами?

7. Ответьте на вопросы тестового задания.

## Тема 2.2. Растяжение и сжатие

Вопросы	Ответы	Код
1. Выбрать соответствующую эпюру продольных сил в поперечных сечениях бруса.  	А	1
	Б	2
	В	3
	Г	4
2. Для бруса, изображенного на схеме к вопросу 1, рассчитать наибольшую продольную силу, возникшую в поперечном сечении.	70 кН	1
	130 кН	2
	110 кН	3
	200 кН	4
3. Определить нормальное напряжение в точке В (схема к вопросу 1).	110 МПа	1
	220 МПа	2
	80 МПа	3
	140 МПа	4
4. Проверить прочность изображенного в вопросе 1 бруса, если допустимое напряжение $[\sigma] = 160$ МПа?	$\sigma = [\sigma]$	1
	$\sigma > [\sigma]$	2
	$\sigma < [\sigma]$	3
	Верный ответ не приведен	4
5. Определить перемещение свободного конца бруса, если известны длины участков бруса: $l_1 = 0,4$ м; $l_2 = 0,6$ м; $l_3 = 0,4$ м; $l_4 = 0,2$ м (схема к вопросу 1).	0,42 мм	1
	0,22 мм	2
	0,62 мм	3
	0,66 мм	4

## ЛЕКЦИЯ 22

## Тема 2.2. Механические испытания, механические характеристики. Предельные и допускаемые напряжения

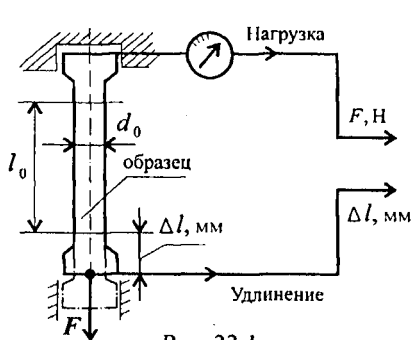
*Иметь представление о предельных и допускаемых напряжениях и коэффициенте запаса прочности.*

*Знать диаграммы растяжения и сжатия пластичных и хрупких материалов, порядок расчетов на прочность.*

При выборе материалов для элементов конструкции и расчетов на прочность необходимо знать механические характеристики. Необходимые сведения получают экспериментально при испытаниях на растяжение, сжатие, срез, кручение и изгиб.

### Механические испытания.

#### Статические испытания на растяжение и сжатие



Это стандартные испытания: оборудование — стандартная разрывная машина, стандартный образец (круглый или плоский), стандартная методика расчета.

На рис. 22.1 представлена схема испытаний ( $d_0$  — начальный диаметр поперечного сечения;  $l_0$  — начальная длина).

На рис. 22.2 изображена схема образца до (рис. 22.2а) и после

(рис. 22.2б) испытаний ( $d_{ш}$  — диаметр шейки, сужения перед разрывом).

Образец закрепляется в зажимах разрывной машины и растягивается до разрыва. Машина снабжена прибором для автоматической записи диаграммы растяжения — зависимости между нагрузкой и абсолютным удлинением (рис. 22.3 — диаграмма растяжения для малоуглеродистой стали).

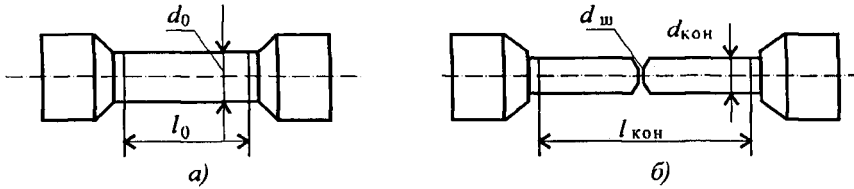


Рис. 22.2

Полученная диаграмма пересчитывается и перестраивается (рис. 22.4 — приведенная диаграмма растяжения первого типа).

Особые точки диаграммы растяжения обозначены точками 1, 2, 3, 4, 5:

1) точка 1 соответствует *пределу пропорциональности*: после нее прямая линия (прямая пропорциональность) заканчивается и переходит в кривую;

участок 01 — удлинение  $\Delta l$  растет пропорционально нагрузке; подтверждается закон Гука;

2) точка 2 соответствует *пределу упругости* материала: материал теряет упругие свойства — *способность вернуться к исходным размерам*;

3) точка 3 является концом участка, на котором образец *сильно деформируется без увеличения нагрузки*. Это явление называют *текучестью*; *текучесть* — *удлинение при постоянной нагрузке*;

4) точка 4 соответствует *максимальной нагрузке*, в этот момент на образце образуется «*шейка*» — резкое уменьшение площади поперечного сечения. Напряжение в этой точке называют *временным сопротивлением разрыву*, или *условным пределом прочности*. Зона 3–4 называется зоной упрочнения.

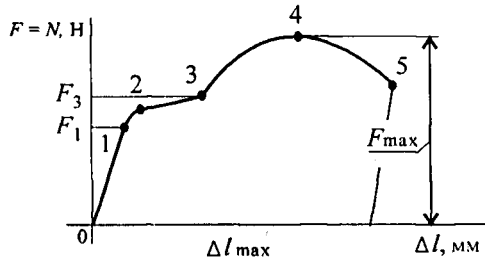


Рис. 22.3

## Механические характеристики

При построении приведенной диаграммы рассчитываются величины, имеющие условный характер, усилия в каждой из точек

делят на величину *начальной площади поперечного сечения*, хотя в каждый момент идет деформация и площадь образца уменьшается. Приведенная диаграмма растяжения не зависит от абсолютных размеров образца (рис. 22.4).

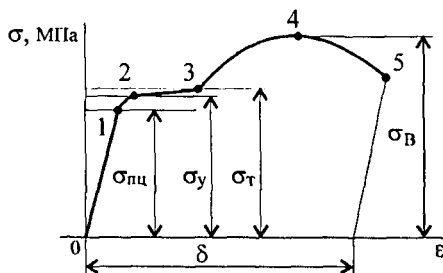


Рис. 22.4

### **Основные характеристики прочности:**

- предел пропорциональности  $\sigma_{пц} = F_1/A_0$ ;
- предел упругости  $\sigma_y = F_2/A_0$ ;
- предел текучести  $\sigma_\tau = F_3/A_0$ ;
- предел прочности, или временное сопротивление разрыву,  $\sigma_B = F_{\max}/A_0$ , где  $A_0 = (\pi d_0^2)/4$  — начальная площадь сечения.

### **Характеристики пластичности материала**

$\delta$  — максимальное удлинение в момент разрыва

$$\delta = \frac{\Delta l_{\max}}{l_0} \cdot 100 \%,$$

где  $\Delta l_{\max}$  — максимальное остаточное удлинение (рис. 22.3);  
 $\psi$  — максимальное сужение при разрыве

$$\psi = \frac{A_0 - A_{ш}}{A_0} \cdot 100 \%,$$

где  $A_{ш}$  — площадь образца в месте разрыва.

Характеристики пластичности определяют способность материала к деформированию, чем выше значения  $\delta$  и  $\psi$ , тем материал пластичнее.

## Виды диаграмм растяжения

Различные материалы по-разному ведут себя под нагрузкой, характер деформаций и разрушения зависит от типа материалов.

Принято делить материалы по типу их диаграмм растяжения на три группы. К первой группе относят *пластичные материалы*, эти материалы имеют на диаграмме растяжения *площадку текучести* (диаграммы первого типа) (рис. 22.5а). Ко второй группе относятся *хрупкие материалы*, эти материалы *мало деформируются*, разрушаются по хрупкому типу. На диаграмме нет площадки текучести (рис. 22.5б).

К третьей группе относят *материалы, не имеющие площадки текучести*, но значительно деформирующиеся под нагрузкой, их называют *пластично-хрупкими* (рис. 22.5в).

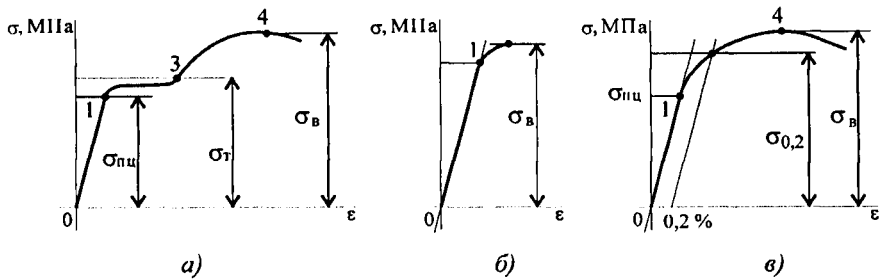


Рис. 22.5

Таким образом, *хрупкий и пластично-хрупкий материалы не имеют площадки текучести*, а в справочниках отсутствует характеристика «предел текучести». По этой особенности их можно узнать.

Пластично-хрупкие материалы значительно деформируются, этого нельзя допустить в работающей конструкции. Поэтому их *деформацию обычно ограничивают*. Максимально возможная относительная деформация  $\epsilon = 0,2\%$ . По величине максимально возможной деформации определяется соответствующее нормальное напряжение  $\sigma_{0,2}$ , которое принимают за предельное.

## Предельные и допустимые напряжения

*Предельным напряжением* считают напряжение, при котором



в материале возникает опасное состояние (разрушение или опасная деформация).

Для *пластичных* материалов предельным напряжением считают *предел текучести*, т. к. возникающие пластические деформации не исчезают после снятия нагрузки:

$$\sigma_{\text{пред}} = \sigma_{\text{T}}.$$

Для *хрупких* материалов, где пластические деформации отсутствуют, а разрушение возникает по хрупкому типу (шейки не образуются), за предельное напряжение принимают *предел прочности*:

$$\sigma_{\text{пред}} = \sigma_{\text{B}}.$$

Для *пластично-хрупких* материалов предельным напряжением считают напряжение, соответствующее максимальной деформации 0,2% ( $\sigma_{0,2}$ ):

$$\sigma_{\text{пред}} = \sigma_{0,2}.$$

*Допускаемое напряжение* — максимальное напряжение, при котором материал должен нормально работать.

Допускаемые напряжения получают по предельным с учетом запаса прочности:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{пред}}}{[s]},$$

где  $[\sigma]$  — допускаемое напряжение;  $s$  — коэффициент запаса прочности;  $[s]$  — допускаемый коэффициент запаса прочности.

**П р и м е ч а н и е.** В квадратных скобках принято обозначать допускаемое значение величины.

*Допускаемый коэффициент запаса прочности* зависит от качества материала, условий работы детали, назначения детали, точности обработки и расчета и т. д.

Он может колебаться от 1,25 для простых деталей до 12,5 для сложных деталей, работающих при переменных нагрузках в условиях ударов и вибраций.

### **Особенности поведения материалов при испытаниях на сжатие**

1. Пластичные материалы практически одинаково работают при растяжении и сжатии. Механические характеристики при растяжении и сжатии одинаковы.

2. Хрупкие материалы обычно обладают большей прочностью при сжатии, чем при растяжении:  $\sigma_{вр} < \sigma_{вс}$ .

Если допускаемое напряжение при растяжении и сжатии различно, их обозначают  $[\sigma_p]$  (растяжение),  $[\sigma_c]$  (сжатие).

### Расчеты на прочность при растяжении и сжатии

Расчеты на прочность ведутся по условиям прочности — неравенствам, выполнение которых гарантирует прочность детали при данных условиях.

Для обеспечения прочности расчетное напряжение не должно превышать допускаемого напряжения:

$$\sigma \leq [\sigma], \text{ где } \sigma = \frac{N}{A}; \quad [\sigma] = \frac{\sigma_{пред}}{[s]}.$$

Расчетное напряжение  $\sigma$  зависит от нагрузки и размеров поперечного сечения, допускаемое только от материала детали и условий работы.

Существуют три вида расчета на прочность.

1. **Проектировочный расчет** — задана расчетная схема и нагрузки; материал или размеры детали подбираются:

— определение размеров поперечного сечения:

$$A \geq \frac{N}{[\sigma]};$$

— подбор материала

$$\sigma_{пред} \geq \frac{N[s]}{A};$$

по величине  $\sigma_{пред}$  можно подобрать марку материала.

2. **Проверочный расчет** — известны нагрузки, материал, размеры детали; необходимо проверить, обеспечена ли прочность.

Проверяется равенство

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq [\sigma].$$

3. **Определение нагрузочной способности** (максимальной нагрузки):  $[N] = [\sigma]A$ .

### Примеры решения задач

Прямой брус растянут силой 150 кН (рис. 22.6), материал — сталь  $\sigma_T = 570$  МПа,  $\sigma_B = 720$  МПа, запас прочности  $[s] = 1,5$ . Определить размеры поперечного сечения бруса.

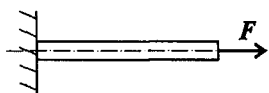


Рис. 22.6

#### Решение

1. Условие прочности:  $\sigma = \frac{N}{A} \leq [\sigma]$ .
2. Потребная площадь поперечного сечения определяется соотношением  $A \geq \frac{N}{[\sigma]}$ .
3. Допускаемое напряжение для материала рассчитывается из заданных механических характеристик. Наличие предела текучести означает, что материал — пластичный.

$$[\sigma] = \frac{\sigma_T}{[s]}; \quad [\sigma] = \frac{570}{1,5} = 380 \text{ МПа.}$$

4. Определяем величину потребной площади поперечного сечения бруса и подбираем размеры для двух случаев.

$$A \geq \frac{150 \cdot 10^3}{380} = 394,7 \text{ мм}^2.$$

Сечение — круг, определяем диаметр.

$$A = \pi R^2; \quad R = \sqrt{\frac{A}{\pi}}; \quad R = \sqrt{\frac{394,7}{3,14}} = 11,2 \text{ мм.}$$

Полученную величину округляем в большую сторону  $d = 25$  мм,  $A = 4,91 \text{ см}^2$ .

Сечение — равнополочный уголок № 5 по ГОСТ 8509–86.

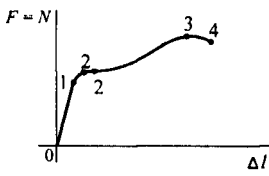
Ближайшая площадь поперечного сечения уголка —  $A = 4,29 \text{ см}^2$  ( $d = 5$  мм).  $4,91 > 4,29$  (Приложение 1).

### Контрольные вопросы и задания

1. Какое явление называют текучестью?
2. Что такое «шейка», в какой точке диаграммы растяжения она образуется?

3. Почему полученные при испытаниях механические характеристики носят условный характер?
4. Перечислите характеристики прочности.
5. Перечислите характеристики пластичности.
6. В чем разница между диаграммой растяжения, вычерченной автоматически, и приведенной диаграммой растяжения?
7. Какая из механических характеристик выбирается в качестве предельного напряжения для пластичных и хрупких материалов?
8. В чем различие между предельным и допускаемым напряжениями?
9. Запишите условие прочности при растяжении и сжатии. Отличаются ли условия прочности при расчете на растяжение и расчете на сжатие?
10. Ответьте на вопросы тестового задания.

### Темы 2.2. Растяжение и сжатие

В о п р о с ы	О т в е т ы	К о д
1. Выбрать на диаграмме растяжения участок упругих деформаций.  	01	1
	12	2
	23	3
	22	4
2. По какой характеристике определяется допускаемое напряжение для пластичных материалов?	$\sigma_r$	1
	$\sigma_{пц}$	2
	$\sigma_y$	3
	$\sigma_b$	4

Продолжение		
В о п р о с ы	О т в е т ы	К о д
3. Выбрать наиболее точную запись условия прочности при растяжении и сжатии.	$\sigma = \frac{N}{A} = [\sigma]$	1
	$\sigma = \frac{N}{A} \geq [\sigma]$	2
	$\sigma = \frac{N}{A} \leq [\sigma]$	3
	$\sigma = \frac{N}{A} > [\sigma]$	4
4. Определить предел текучести материала, если: $F_{\text{пц}} = 12 \text{ кН}$ ; $F_{\text{т}} = 14 \text{ кН}$ ; $F_{\text{max}} = 20 \text{ кН}$ ; $A = 50 \text{ мм}^2$ , $A$ — площадь поперечного сечения.	280 МПа	1
	470 МПа	2
	560 МПа	3
	620 МПа	4
5. Проверить прочность материала, если: $\sigma = 320 \text{ МПа}$ ; $\sigma_{\text{пц}} = 720 \text{ МПа}$ ; $\sigma_{\text{т}} = 800 \text{ МПа}$ ; $\sigma_{\text{в}} = 1000 \text{ МПа}$ ; $[s] = 2, 5$ ; $s$ — запас прочности; $\sigma$ — расчетное напряжение.	$\sigma > [\sigma]$	1
	$\sigma < [\sigma]$	2
	$\sigma = [\sigma]$	3
	Данных недостаточно	4