

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Кафедра теоретической механики и сопротивления материалов

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению лабораторных работ по  
сопротивлению материалов для студентов  
специальностей 120100, 120200, 030500,  
120500, 150100, 150200, 150300, 230100, 240400

**Часть 1**

Курган 2000

Кафедра теоретической механики и сопротивления материалов

Дисциплина "Сопротивление материалов"

(специальности 120100, 120200, 030500, 120500,  
150100, 150200, 150300, 230100, 240400).

Составили: профессор, доктор техн. наук Бубнов В. А. (работы  
3, 5, 6); доцент, канд. техн. наук Емельянова Н. С.  
(работы 1, 2); ст. преподаватель, канд. техн. наук  
Коротовских В. К. (работа 4).

Утверждены на заседании кафедры 16 февраля 2000 года.

Разработаны при равноценном участии авторов.

Рекомендованы редакционно-издательским советом  
университета "28" ИЮНЯ 2000 г.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Механические испытания являются неотъемлемой частью курса сопротивления материалов - инженерной науки о прочности, жесткости и устойчивости элементов конструкций. Эта наука нуждается в экспериментальных обоснованиях исходных гипотез, проверке теоретических выводов и изучении процессов деформации вплоть до разрушения опытных образцов. Удовлетворить этим задачам и призваны лабораторные занятия, сопутствующие курсу сопротивления материалов.

Лабораторным занятиям в процессе обучения отводится важная роль. Они способствуют усвоению основ предмета в наглядной и запоминающейся форме, знакомят студентов с важнейшими механическими свойствами материалов, учат постановке и проведению экспериментов, способствуют развитию первых навыков научно-исследовательской работы.

Единицы силы и механического напряжения

1 ньютон (Н); 1 килоньютон (кН); 1 меганьютон (МН);  
1 килограмм-сила (кгс); 1 паскаль (Па);  
1 мегапаскаль (МПа).  
 $1 \text{ МН} = 10^3 \text{ кН}$ ;  $1 \text{ кгс} = 10 \text{ Н}$ ;  $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$ ;  $1 \text{ МПа} = 10^6 \text{ Па} = 10 \text{ кгс/см}^2 = 1 \text{ Н/мм}^2$ .

## РАБОТА 1 ИСПЫТАНИЕ МАТЕРИАЛОВ НА РАСТЯЖЕНИЕ

Цель работы: определение механических характеристик прочности, пластичности и статической вязкости материала при растяжении по диаграмме растяжения.

### Основные положения

Испытание образцов на растяжение производится на разрывной машине модели Р-10. Для обеспечения сравнимости результатов испытаний форма и размеры образцов на растяжение стандартизированы. Они могут быть круглого или (для листового железа) прямоугольного сечения (рисунок 1.1). Длина  $l_0$ , на которой производится определение удлинения, называется

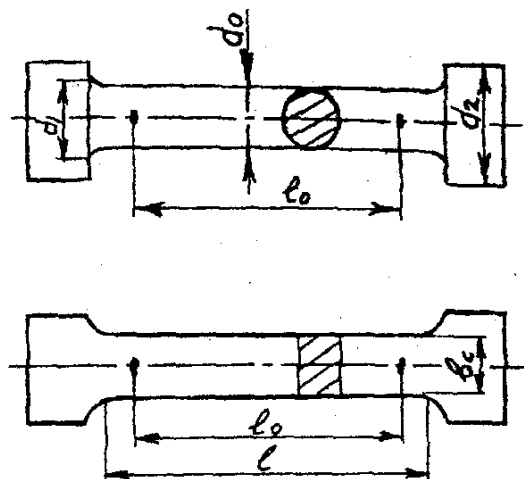


Рисунок 1.1

расчетной длиной. По ГОСТ 1497-84 расчетная длина для круглых образцов  $l_0=10d_0$  и  $l_0=11,3\sqrt{F_0}$  для плоских, где  $F_0$  - площадь поперечного сечения образца до испытания. Рекомендуется применение коротких образцов с  $l_0=5d_0$  для круглых и  $l_0=5,65\sqrt{F_0}$  для прямоугольных образцов.

В данной работе испытанию на растяжение подвергается десятикратный образец круглого поперечного сечения из малоуглеродистой стали. Образец закрепляется в захватах машины и подвергается растяжению за счет перемещения одного из захватов.

С помощью диаграммного аппарата испытательной машины записывается диаграмма растяжения образца, то есть график зависимости абсолютного удлинения  $\Delta l$  образца от величины нагрузки. На рисунке 1.2 представлен примерный вид диаграммы растяжения малоуглеродистой стали. На участке ОА диаграммы растяжения наблюдается линейная зависимость между удлинением и растягивающей силой (закон Гука). Зона работы материала, характеризуемая линией ОА, соответствует упругой стадии (зона упругости). Материал в этой стадии испытывает только упругие деформации, такие, которые исчезают после снятия нагрузки с образца.

Ордината точки А -  $R_{пл}$  называется силой, соответствующей пределу пропорциональности, так как выше точки А прямая пропорциональность между нагрузкой и деформациями <sub>4</sub> нарушается, рост нагрузки

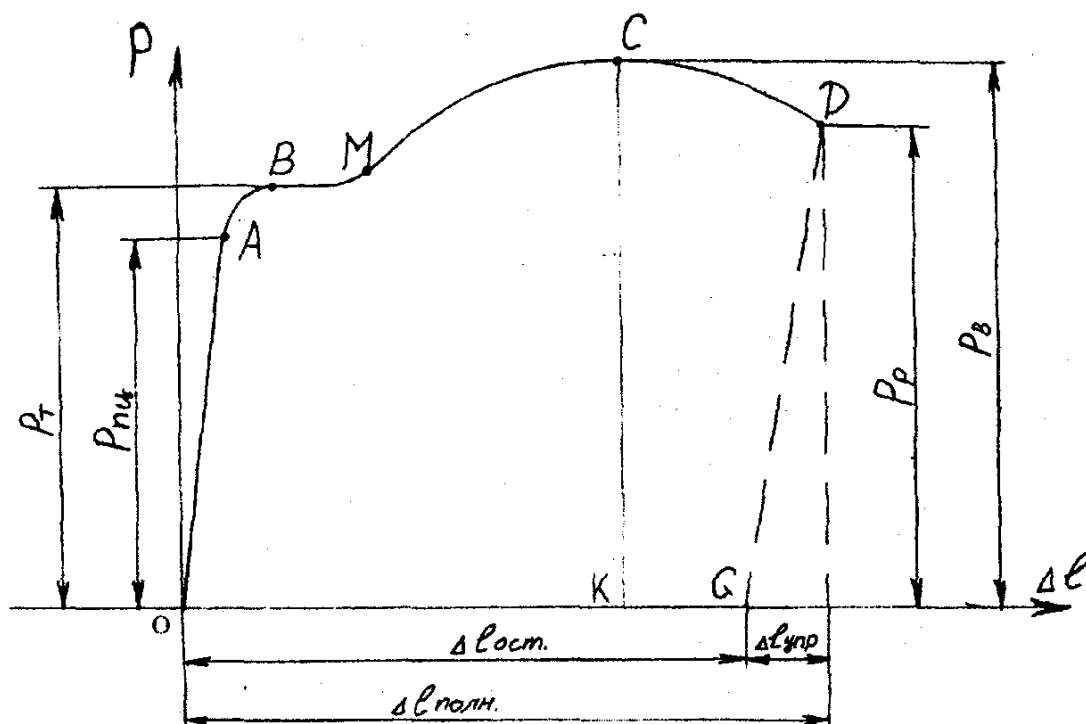


Рисунок 1.2

замедляется и вскоре совсем прекращается (точка В). Деформация возрастает без заметного увеличения нагрузки - материал "течет". Зона ВМ называется зоной общей текучести, а участок ВМ - площадкой текучести.

Ордината точки В -  $P_T$  - сила, соответствующая пределу текучести материала.

Зона МС называется зоной упрочнения. Здесь удлинение образца сопровождается возрастанием нагрузки, но неизмеримо более медленным (в сотни раз), чем на упругом участке.

До точки С (участок диаграммы МС) растяжение образца происходит равномерно, образец, удлиняясь, также равномерно сужается по всей длине.

После достижения максимальной нагрузки (точка С) на образце образуется местное сужение - шейка. Шейка быстро прогрессирует, площадь сечения образца по шейке резко уменьшается, что влечет за собой падение нагрузки за точкой С. Дальнейшее растяжение, при уменьшающейся нагрузке, происходит за счет пластической деформации металла в зоне шейки, после чего наступает разрыв (точка D). Участок CD диаграммы называется зоной местной текучести.

Максимальная нагрузка  $P_B$  - называется силой, соответствующей пределу прочности.

По диаграмме растяжения могут быть определены основные механические характеристики прочности, пластичности и статической вязкости материала.

### Механические характеристики прочности

1. Предел пропорциональности  $\sigma_{пц}$  - наибольшее напряжение, до которого справедлив закон Гука (деформации пропорциональны нагрузке)

$$\sigma_{пц} = \frac{P_{пц}}{F_0}, \quad (1.1)$$

где  $P_{пц}$  - сила, соответствующая пределу пропорциональности ( величина ординаты точки А, рисунок 1.2);

$F_0$  - начальная площадь поперечного сечения образца до испытания.

2. Предел текучести или физический предел текучести  $\sigma_T$  - наименьшее напряжение, при котором материал "течет", то есть наблюдается рост деформаций без заметного увеличения нагрузки

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0}, \quad (1.2)$$

где  $P_T$  - сила, соответствующая пределу текучести (величина ординаты точки В на диаграмме).

Для некоторых металлов и сплавов, например, среднеуглеродистая сталь, медь, дюралюмин и др. на диаграмме растяжения отсутствует площадка текучести.

В случае отсутствия на диаграмме резко выраженной площадки текучести определяется условный предел текучести  $\sigma_{0,2}$  - напряжение, при котором остаточная деформация достигает 0.2% (рисунок 1.3)

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}, \quad (1.3)$$

где  $P_{0,2}$  - сила, соответствующая остаточному удлинению 0,2 % от расчетной длины образца  $l_0$ .

Для определения величины силы  $P_{0,2}$  на диаграмме растяжения (рисунок 1.3) по оси абсцисс откладывают величину  $\Delta l_{0,2}$  в масштабе удлинений (отрезок ОК) и из точки К проводят прямую, параллельную прямолинейному участку диаграммы ОА. Точка пересечения ее с диаграммой определяет ординату силы  $P_{0,2}$ , соответствующую условному пределу текучести  $\sigma_{0,2}$ .

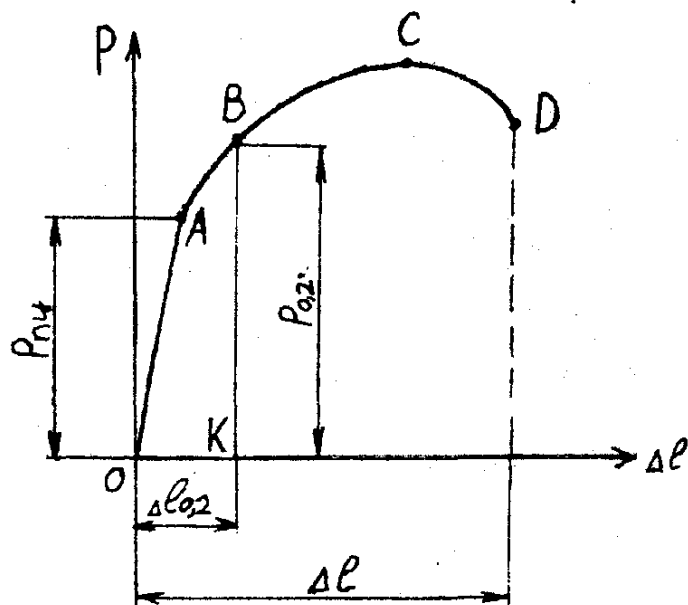


Рисунок 1.3

3. Предел прочности материала или временное сопротивление разрыву  $\sigma_b$  - наибольшее условное напряжение, соответствующее максимальной силе, предшествующей разрыву образца

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0}, \quad (1.4)$$

где  $P_b$  - максимальная сила, предшествующая разрыву образца (величина ординаты точки  $C$ ).

4. Истинное сопротивление разрыву  $\sigma_p$  - напряжение в момент разрыва образца

$$\sigma_p = \frac{P_p}{F_k}, \quad (1.5)$$

где  $P_p$  - величина силы при разрыве образца (ордината точки  $D$ );

$F_k$  - площадь поперечного сечения шейки образца в месте разрыва.

Пределы текучести  $\sigma_T$  и прочности  $\sigma_B$  называют предельными напряжениями. Величина рабочих напряжений (напряжений, возникающих в деталях машин) не должна достигать предела прочности, так как это приведет к разрушению детали. Более того, величина рабочих напряжений в деталях из пластичных материалов должна быть меньше предела текучести, так как при достижении предела текучести быстро нарастают остаточные деформации, возникновение которых нарушает геометрические размеры конструкции.

Чем больше величина предельных напряжений, тем выше прочность материала.

### Механические характеристики пластичности

Пластичностью называется способность материала получать большие остаточные деформации (которые не исчезают после снятия вызвавшей их нагрузки). Свойство пластичности имеет решающее значение для таких технологических операций, как штамповка, гибка, вытяжка, волочение, ковка и др.

Пластичными называются материалы, разрушению которых предшествуют большие остаточные деформации (например, малоуглеродистые стали, медь, алюминий и их сплавы).

Хрупкими называются материалы, разрушающиеся при наличии малых остаточных деформаций (чугун, высокоуглеродистые инструментальные стали, кирпич, стекло, камень и др.).

Мерой пластичности материала служат:

Относительное остаточное удлинение при разрыве

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100\% \quad (1.6)$$

где  $l_k$  - длина расчетной части образца после разрыва.

Значение  $\delta$  для одного и того же материала зависит от длины расчетной части образца или от кратности образца (отношения  $l_0/d_0$ ). Например, для стали Ст3:  $\delta_5=25\%$ ,  $\delta_{10}=21\%$ .

Относительное сужение поперечного сечения в месте шейки

$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \cdot 100\% \quad (1.7)$$



Для пластичных материалов  $\delta = 20 \dots 30\%$ ,  $\psi = 50 \dots 70\%$ .  
Для хрупких -  $\delta = 2 \dots 5\%$ ,  $\psi = 30\%$ .

### Статическая вязкость материала

Вязкостью называется способность материала поглощать (накапливать) без разрушения механическую энергию деформации. Статическая вязкость - механическая характеристика материала, связанная с его сопротивлением удару. Это сопротивление тем больше, чем больше работа, которую нужно затратить на разрушение образца. Работа, затраченная на разрушение образца, пропорциональна площади диаграммы растяжения OABCDGD (рисунок 1.2). Работа может быть определена по формуле

$$A = \eta \cdot P_e \cdot \Delta \ell_{\text{ост}}, \quad (\text{Н} \cdot \text{м}) \text{ или } (\text{Дж}); \quad (1.8)$$

где  $\eta$  - коэффициент полноты диаграммы, равный для сталей  $0,8 \dots 0,9$ . Для малоуглеродистой стали можно принять  $\eta = 0,85$ .

Для характеристики сопротивляемости материала действию ударных нагрузок определяется удельная работа пластической деформации

$$a = \frac{A}{V_0}, \quad (\text{Н} \cdot \text{м}/\text{м}^3) \text{ или } (\text{Дж}/\text{м}^3); \quad (1.9)$$

где  $V_0 = F_0 \cdot l_0$  - начальный объем расчетной части образца. Для малоуглеродистой стали  $a = (700 \dots 800) \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}/\text{м}^3$ .

### Порядок выполнения работы

1. Замерить диаметр образца  $d_0$ .
2. Штангенциркулем отложить на рабочей части образца расчетную длину  $l_0 = 10d$  и с помощью керны поставить две метки.
3. Вычислить площадь поперечного сечения  $F_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4}$  и начальный объем  $V_0$  рабочей части образца.
4. Установить образец в захватах машины и настроить диаграммный аппарат. Пустить машину в ход.

5. Произвести испытание образца до разрыва. При испытании необходимо записать наибольшее значение нагрузки  $P_b$ , которую выдерживает образец.

6. Обработать полученную диаграмму: найти начало координат диаграммы. В начальной стадии растяжения образца происходит обжатие его головок в захватах и выборка зазоров. Поэтому соответствующая часть диаграммы может быть криволинейной (рисунок 1.4). Чтобы найти начало координат диаграммы, необходимо продолжить прямую пропорциональной зависимости  $O_2A$  до пересечения с осью (точка  $O$ ). Ось абсцисс диаграммы - ось  $\Delta l$  - проводится из точки  $O_1$ . Из начала координат, точки  $O$  восстанавливаем ось ординат - ось  $P$ . Таким образом, участок  $O_1O_2$  диаграммы отбрасывается, как это рекомендует ГОСТ.

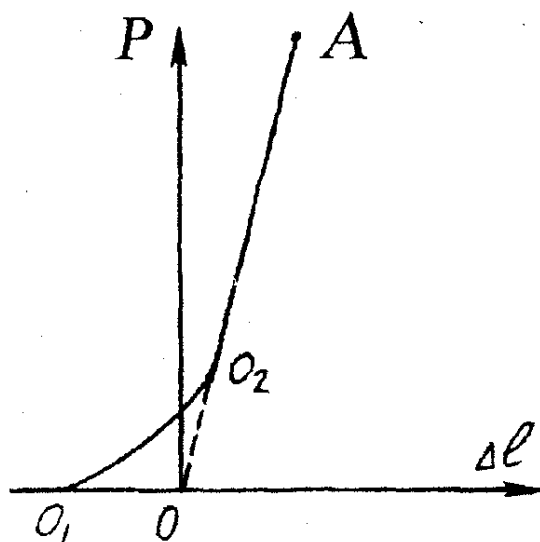


Рисунок 1.4

7. Отметить на диаграмме её характерные точки A, B, C, D и измерить их ординаты.

8. Измерить штангенциркулем конечную длину расчетной части разрушенного образца  $l_k$  (сложив обе половины образца, измерить расстояние между метками).

9. Измерить диаметр шейки  $d_k$  в месте разрыва образца.

10. Определить масштаб диаграммы по оси ординат и по оси абсцисс. Масштаб диаграммы по оси ординат устанавливается путем деления силы  $P_b$ , соответствующей пределу прочности, на величину ординаты  $\overline{CK}$  (рисунок 1.2)

$$m_0 = \frac{P_s}{\overline{CK}} \quad (\text{Н/мм}) \quad (1.10)$$

Ю

Проведя на диаграмме (рисунок 1.2) прямую  $\overline{DG}$ , параллельную  $\overline{OA}$ , получим на оси абсцисс отрезок  $\overline{OG}$ , изображающий величину остаточного удлинения образца после разрыва. Истинная величина остаточного удлинения образца после разрыва равна разности  $l_x - l_0$ . Тогда масштаб диаграммы по оси абсцисс определится как

$$m_a = \frac{l_k - l_0}{OG} \quad (\text{мм/мм}) \quad (1.11)$$

11. Вычислить все механические характеристики прочности, пластичности и статической вязкости испытуемого образца по формулам, приведенным выше. Все данные испытания занести в отчет.

#### Контрольные вопросы

1. Какой вид имеет диаграмма растяжения образца из малоуглеродистой стали?
2. Что такое упругая стадия деформаций (на диаграмме растяжения)?
3. Какие деформации называются упругими, остаточными (пластическими)?
4. Какие материалы при нормальных условиях называют пластичными, хрупкими?
5. Что такое текучесть материала?
6. Что такое предел пропорциональности?
7. Что такое предел текучести?
8. Что такое предел прочности?
9. При какой нагрузке на образце возникает шейка?
10. Какие механические характеристики материала определяют его способность пластически деформироваться?
11. Как найти работу растягивающей силы по диаграмме растяжения?
12. Что характеризует статическая вязкость материала?
13. Какие механические характеристики материала определяют его прочность?

### Отчет о работе

1. Наименование и цель работы.
2. Эскиз образца до испытания и после разрыва.

3.

Таблица 1.1 - Размеры образца

До испытания	После разрыва
Диаметр $d_0 =$ (мм)	Диаметр шейки $d_k =$ (мм)
Расчетная длина образца $l_0 =$ (мм)	Расчетная длина образца $l_0 =$ (мм)
Площадь поперечного сечения образца $F_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} =$ (мм <sup>2</sup> )	Площадь поперечного сечения шейки образца в месте разрыва $F_k = \frac{\pi \cdot d_k^2}{4} =$ (мм <sup>2</sup> )
Начальный объем расчетной части образца $V_0 = F_0 \cdot l_0 =$ (мм <sup>3</sup> )	

4. Полученная диаграмма растяжения, перерисованная в определенном масштабе с характерными ординатами  $R_{пц}, R_T, R_B, R_p$ .

5.

Таблица 1.2 - Сопротивление образца, Н

Нагрузка $R_{пц}$ , соответствующая пределу пропорциональности	Нагрузка $R_T$ , соответствующая пределу текучести	Нагрузка $R_B$ , соответствующая пределу прочности	Нагрузка $R_p$ в момент разрыва.

6. Таблица 1.3 - Результаты опыта

Характеристики прочности материала, МПа	Характеристики пластичности материала, %	Характеристики статической вязкости материала
Предел пропорциональности $\sigma_{пч} = \frac{P_{пч}}{F_0} =$	Относительное остаточное удлинение $\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100\% =$	Работа пластической деформации, Н·м $A = \eta \cdot P_e \cdot \Delta l_{ост} =$
Предел текучести $\sigma_T = \frac{P_T}{F_0} =$	Относительное остаточное поперечное сужение сечения $\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \cdot 100\% =$	Удельная работа, затраченная на разрыв, Н·м/м <sup>3</sup> $a = \frac{A}{F_0 \cdot l_0} =$
Предел прочности $\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} =$		
Истинное напряжение при разрыве $\sigma_P = \frac{P_P}{F_K} =$		

7. Выводы.

**РАБОТА 2**  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ПРОДОЛЬНОЙ УПРУГОСТИ**  
**И КОЭФФИЦИЕНТА ПОПЕРЕЧНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ДЛЯ СТАЛИ**

Цель работы: опытное определение упругих постоянных для стали - модуля продольной упругости и коэффициента поперечной деформации.

**Основные положения**

Для большинства материалов, согласно закону Гука, между нормальным напряжением  $\sigma$  и относительной деформацией  $\varepsilon$  существует прямая пропорциональная зависимость:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \quad (2.1)$$

где  $E$  - модуль продольной упругости.

Модуль продольной упругости зависит только от материала и характеризует его жесткость при осевом растяжении (сжатии). Чем больше модуль продольной упругости, тем более жестким будет материал (тем меньше будут деформации при тех же напряжениях).

Абсолютное удлинение стержня (образца)  $\Delta l$  по закону Гука равно:

$$\Delta l = \frac{N \cdot l}{E \cdot F}, \quad (2.2)$$

где  $N$  - продольная сила (при действии одной внешней силы  $N=P$ );

$l$  - расчетная длина стержня;

$F$  - площадь поперечного сечения.

Модуль продольной упругости равен

$$E = \frac{P \cdot l}{\Delta l \cdot F}. \quad (2.3)$$

Измерив опытным путем величину осевой нагрузки  $P$  и абсолютное удлинение  $\Delta l$ , зная размеры  $l$  и  $F$  испытуемого образца, вычисляют величину модуля продольной упругости  $E$ . Для стали  $E = (1,9 \dots 2,15) \cdot 10^5$  (МПа).

Даже при малых продольных деформациях образца происходит изменение его поперечных размеров (рисунок 2.1).

Связь между относительной поперечной деформацией  $\varepsilon_1 = \frac{\Delta b}{b}$  и относительной продольной деформацией  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$  определяется коэффициентом поперечной деформации  $\mu$  (коэффициентом Пуассона)

$$\mu = \left| \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon} \right|. \quad (2.4)$$

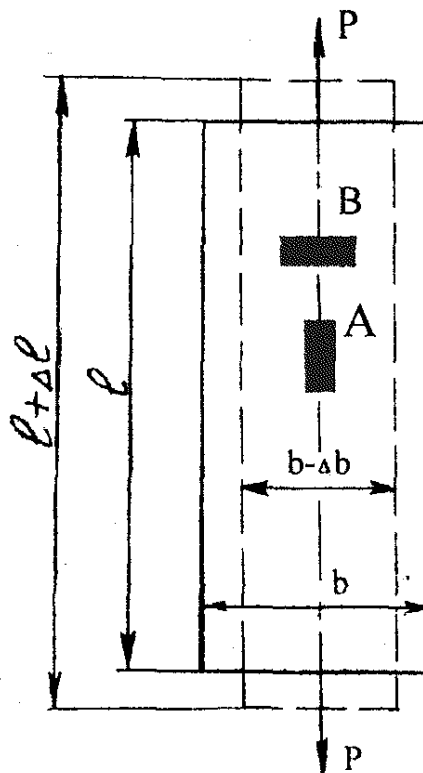


Рисунок 2.1

Величина коэффициента поперечной деформации зависит только от материала и, следовательно, как и модуль продольной упругости, является постоянной. Для всех металлов  $\mu=0,23\dots0,35$ .

При определении упругих постоянных  $E$  и  $\mu$  стальной образец подвергается растяжению на разрывной машине модели Р-5. По мере увеличения нагрузки производится измерение продольной и поперечной деформаций образца с помощью рычажных тензометров Гугенбергера. Тензометры устанавливаются непосредственно на образце (рисунок 2.1). Тензометр А предназначен для измерения продольной деформации, а тензометр В - для измерения поперечной деформации. Следует помнить, что тензометры измеряют изменения длины образца и его поперечного размера в пределах базы прибора, поэтому относительные деформации будут соответственно равны:

$$\text{продольная } \varepsilon = \frac{\Delta l_{\text{ср}}}{l_T}, \quad (2.5)$$

$$\text{поперечная } \varepsilon = \frac{\Delta b_{\text{ср}}}{l_T},$$

где  $\Delta l_{\text{ср}}$  - среднее приращение абсолютного удлинения, вызванного степенью нагружения  $\Delta P$ ;

$\Delta b_{\text{ср}}$  - среднее приращение абсолютной поперечной деформации;

$l_T$  - база тензометров.

Шкала прибора разделена на миллиметры и снабжена зеркалом. При отсчете стрелку нужно совмещать с ее зеркальным изображением.

#### Порядок выполнения работы

1. Измерить ширину и толщину испытуемого образца.
2. Вычислить площадь поперечного сечения образца  $F$ .
3. Определить величину наибольшей силы, которую можно приложить к образцу, не вызывая в нем напряжений, превышающих предел пропорциональности  $\sigma_{\text{пц}}$ . Для малоуглеродистой стали  $\sigma_{\text{пц}}=200$  МПа.

$$P_{\text{max}} \leq \sigma_{\text{пц}} \cdot F \quad (2.6)$$

4. Произвести предварительное нагружение для обжатия головок образца в захватах машины.

5. Зафиксировать величину этой нагрузки, приняв ее за условный нуль. Записать начальные показания тензодатчиков в делениях.

6. Произвести 3...4 нагружения образца равными ступенями и после каждой ступени нагружения записать показания тензодатчиков. Число ступеней нагружения берется с учетом выполнения условия (2.5).

7. Достигнув наибольшей нагрузки  $P_{\max}$ , разгрузить образец до начальной нагрузки  $P_0$  и проверить показания тензодатчиков А и В по данным первой записи.

8. Вычислить средние приращения показаний тензодатчиков А и В.

$$\Delta A_{cp} = \frac{\sum \Delta A}{n}; \quad \Delta B_{cp} = \frac{\sum \Delta B}{n}; \quad (2.7)$$

где  $\sum \Delta A$  и  $\sum \Delta B$  - сумма приращений показаний тензодатчиков А и В в делениях;

$n$  - число ступеней нагружения.

9. Вычислить среднее приращение абсолютного удлинения, вызванного ступенью нагружения  $\Delta P$ .

$$\Delta l_{cp} = \Delta A_{cp} \cdot k, \quad (2.8)$$

где  $k$  - цена деления тензодатчика.

10. Вычислить среднее приращение абсолютной поперечной деформации

$$\Delta b_{cp} = \Delta B_{cp} \cdot k \quad (2.9)$$

11. Определить относительные продольную и поперечную деформации по формуле (2.5).

12. Определить модуль продольной упругости по формуле

$$E = \frac{\Delta P \cdot l_T}{\Delta l_{cp} \cdot F} \quad (2.10)$$

13. Определить коэффициент поперечной деформации  $\mu$  по формуле (2.4).

14. Полученные значения  $E$  и  $\mu$  сравнить с данными, указанными в литературе для испытываемого материала.

15. Выводы.



### Контрольные вопросы

1. Сформулировать закон Гука для линейных деформаций.
2. Что называется модулем продольной упругости? Какие свойства материала он характеризует?
3. Что нужно измерить опытным путем для определения модуля продольной упругости?
4. Как определяется величина наибольшей нагрузки, до которой может быть нагружен образец при определении  $E$  и  $\mu$ ?
5. Какие приборы используются для измерения продольной и поперечной деформации?
6. Что называется коэффициентом поперечной деформации?
7. Какие деформации, возникающие при осевом растяжении больше: продольные или поперечные?
8. При проведении лабораторной работы были определены следующие значения коэффициента поперечной деформации для стали: 0,15; 0,5; 0,28. Укажите, в каких случаях опыт был проведен неправильно?

### Отчет о работе

1. Наименование и цель работы.
2. Схема расположения тензометров на образце.
3. Площадь поперечного сечения образца  $F =$
4. База тензометров  $l_T =$
5. Величина наибольшей силы, которую можно приложить к образцу, не вызывая в нем напряжений, превышающих  $\sigma_{пл}$  ( $\sigma_{пл} = 200$  МПа)
6. Результаты опыта:

Таблица 2.1

Р	$\Delta P$	Показания тензометра А	Приращение показаний $\Delta A$	Показания тензометра В	Приращение показаний $\Delta B$

$$\Delta A_{cp} =$$

$$\Delta B_{cp} =$$

Таблица 2.2

Среднее приращение абсолютного удлинения, мм	Среднее приращение абсолютной поперечной деформации, мм	Относительная продольная деформация	Относительная поперечная деформация	Коэффициент поперечной деформации	Модуль продольной упругости, МПа
$\Delta l_{ср} = \Delta A_{ср} K =$	$\Delta b_{ср} = \Delta B_{ср} K =$	$\epsilon = \frac{\Delta l_{ср}}{l_T} =$	$\epsilon_1 = \frac{\Delta b_{ср}}{b_T} =$	$\mu = \left  \frac{\epsilon_1}{\epsilon} \right  =$	$E = \frac{\Delta P l_T}{\Delta l_{ср} F} =$

7. Выводы.

### РАБОТА 3 ИСПЫТАНИЕ МАТЕРИАЛОВ НА СЖАТИЕ

Цель работы: опытное изучение поведения пластичных, хрупких и неоднородных материалов при сжатии и определение их механических характеристик.

#### Основные положения

Для пластичных материалов (мягкой стали, меди, алюминия и др.) испытания на сжатие являются дополнением к испытаниям этих материалов на растяжение. Хрупкие материалы (чугун, бетон, стекло, керамика и др.) на сжатие работают значительно лучше, чем на растяжение, и обычно применяются для элементов конструкций, работающих на сжатие. Поэтому хрупкие материалы и испытывают главным образом на сжатие.

Образцы для испытания на сжатие стали и чугуна имеют форму цилиндра. Следует иметь в виду, что результаты испытаний стали, чугуна и других материалов на сжатие зависят от условий проведения опыта. Практически очень трудно добиться приложения сжимающей силы точно по оси образца. При наличии эксцентриситета образец не только сжимается, но и изгибается. Чем длиннее обра-

зец, тем сильнее сказывается влияние изгиба. Для уменьшения влияния изгиба рекомендуется применять образцы, длина которых не более, чем в два раза превышает их поперечные размеры. Применение слишком коротких образцов нежелательно из-за влияния сил трения между торцами образца и опорными плитами. Чем короче образец, тем сильнее влияние сил трения. Появление этих сил изменяет характер напряженного состояния и увеличивает сопротивление разрушению образца. Уменьшить трение можно смазыванием торцов образца парафином или графитовой смазкой.

И для пластичных, и для хрупких материалов кривые зависимости между силами и деформациями при осевом растяжении и сжатии получаются различными. Здесь сказывается противоположное изменение размеров поперечных сечений образцов и неодинаковость условий на поверхностях, через которые образцам передаются силовые воздействия.

На рисунке 3.1 показан вид образца из малоуглеродистой стали до и после испытания.

При больших сжимающих нагрузках образец пластически деформируется (расплющивается), но не разрушается.

Диаграмма сжатия малоуглеродистой стали представлена на рисунке 3.2. Из неё видно, что усилие сжатия непрерывно возрастает, поперечное сечение при этом, вследствие сил трения, возникающих по торцам образца, увеличивается, образец принимает бочкообразную форму.

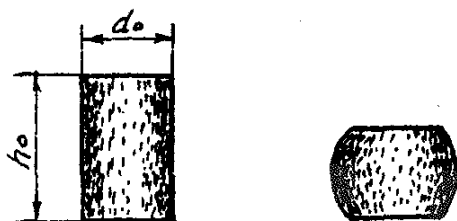


Рисунок 3.1

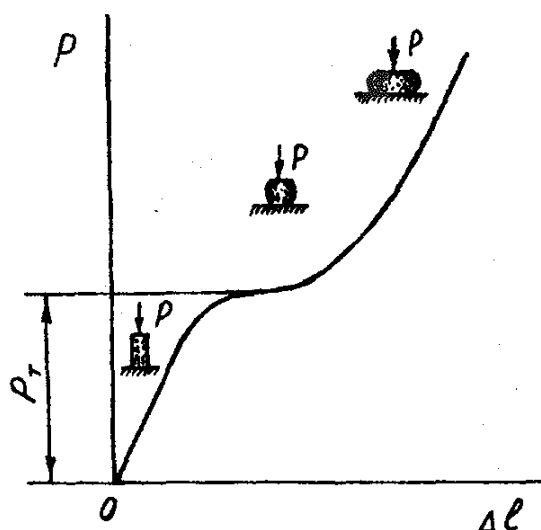


Рисунок 3.2

Площадка текучести при сжатии выявлена слабо, иногда она полностью отсутствует. При дальнейшем нагружении из-за сплющивания образец способен выдержать большие усилия, разрушить его не удастся. Значения пределов пропорциональности и текучести для пластичных материалов при растяжении и сжатии практически одинаковы.

Для большинства пластичных материалов в результате испытаний на сжатие определяют условный предел текучести  $\sigma_{0,2}$ , представляющий собой напряжение, при котором относительное сжатие образца равно 0,2 % (рисунок 3.3).

В тех случаях, когда пределы текучести при растяжении и сжатии различны, их обозначают соответственно  $\sigma_{0,2p}$  и  $\sigma_{0,2c}$  (или  $\sigma_{Tp}$  и  $\sigma_{Tc}$ ). К материалам, для которых  $\sigma_{0,2c} > \sigma_{0,2p}$ , относятся некоторые легированные стали, подвергнутые закалке. Например, для стали 30ХГС  $\sigma_{0,2p} = 0,88 \sigma_{0,2c}$ . Такие материалы называются крупкопластичными.

Хрупкие материалы имеют существенно меньший предел прочности при растяжении, чем при сжатии. Например, серый чугун при сжатии имеет предел прочности  $\sigma_{bc} = 500 \dots 1500$  МПа, а при растяжении — почти в четыре раза меньше:  $\sigma_{bp} = 120 \dots 380$  МПа. Разрушение чугуна при сжатии начинается с образования трещин под углом  $45^\circ$  к оси цилиндрического образца, что вызвано наибольшими касательными напряжениями (рисунок 3.4). На рисунке 3.5 показана соответствующая диаграмма сжатия.

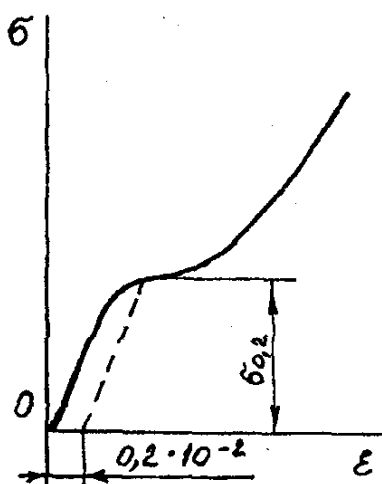


Рисунок 3.3



Рисунок 3.4

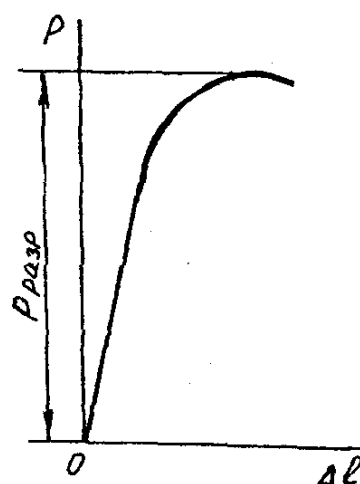


Рисунок 3.5

Такие строительные материалы как цементный камень, бетон, дерево, испытываются на сжатие на образцах в виде кубиков. Прочность этих материалов неодинакова в различных направлениях. Дерево является анизотропным материалом, у которого физические и прочностные свойства существенно различаются в направлениях вдоль и поперек волокон (рисунок 3.6). При сжатии кубика из дерева вдоль волокон разрушение происходит в виде сдвига по наклонной плоскости одной части образца относительно другой (рисунок 3.6 а). При сжатии поперек волокон происходит прессование дерева (рисунок 3.6 б). Пределы прочности дерева при сжатии вдоль и поперек волокон значительно отличаются.

Прочность дерева зависит от его влажности. Стандартная влажность испытываемой древесины принята 15%. Испытываемый образец при сжатии вдоль волокон рекомендуется сжимать со скоростью не более  $2 \cdot 10^3$  Н в минуту до момента разрушения. При достижении разрушающей нагрузки происходит сдвиг – смещение слоев в плоскости, наклоненной под углом  $45^\circ - 60^\circ$  к продольной оси образца. Диаграмма сжатия дерева вдоль волокон напоминает диаграмму сжатия хрупких материалов (рисунок 3.7, кривая 1).

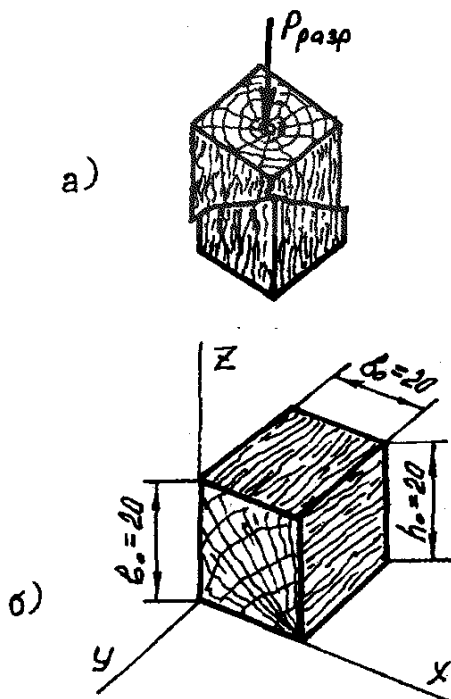


Рисунок 3.6

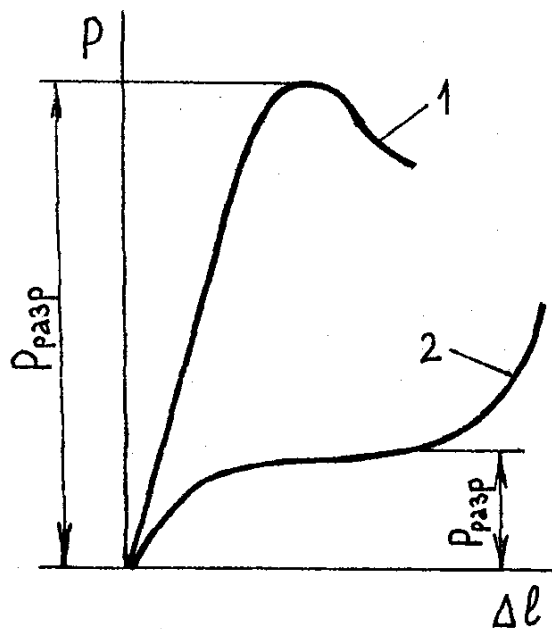


Рисунок 3.7

При испытании деревянного образца поперек волокон нагрузка сначала возрастает пропорционально деформациям (рисунок 3.7, кривая 2), а затем возрастание нагрузки замедляется, образец быстро деформируется, но разрушение не наблюдается (образец спрессовывается). За разрушающую нагрузку условно принимают то значение нагрузки, при которой кубик сжимается на одну треть своей первоначальной высоты. Уменьшение высоты образца на одну треть определяют по шкале перемещений подвижной опоры машины. Величину разрушающей нагрузки надо зафиксировать по шкале силоизмерительного устройства. В дальнейшем за счет спрессовывания образца нагрузка начинает расти. В это время испытание следует прекратить.

#### Порядок выполнения работы

##### Сжатие образца из стали

Испытание проводится на универсальной испытательной машине усилием не менее 10 т с записью диаграммы. Образец для испытания – цилиндр, с высотой в 1,5 раза больше диаметра, из мягкой стали.

1. Подготовить машину к испытаниям (установить миллиметровую бумагу на барабан диаграммного аппарата, каретку с пером установить в нулевое положение).

2. Замерить диаметр  $d_0$  и высоту образца  $h_0$  и установить испытываемый образец между опорными плитами.

3. Пустить машину в ход и наблюдать за процессом сжатия образца.

4. Во время испытания необходимо следить за стрелкой силоизмерителя. Кратковременная остановка или замедление скорости её движения указывает на то, что материал начал пластически деформироваться. Замеченная по шкале силоизмерителя нагрузка в момент остановки стрелки является силой  $P_t$ , соответствующей пределу текучести.

5. При сжатии образца на одну треть от начальной высоты зафиксировать по шкале силоизмерителя условную разрушающую нагрузку  $P_{разр}$ . После этого испытание продолжить до нагружения нагрузкой, близкой к предельной для данной испытательной машины, но необходимо следить, чтобы не допустить поломки машины.

6. По полученной диаграмме сжатия определить:  $P_T$  – нагрузку, соответствующую пределу текучести. Если на диаграмме отсутствует площадка текучести, то определяют нагрузку, соответствующую условному пределу текучести при относительной остаточной деформации 0,2 %:

$P_{разр}$  – условную разрушающую нагрузку, при которой полная деформация составляет одну треть от первоначальной высоты образца.

7. Зарисовать внешний вид деформируемого образца.

8. По определенным нагрузкам вычислить соответственно: предел текучести

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0} \quad \text{или} \quad \sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}; \quad (3.1)$$

условный предел прочности  $\sigma_{вс} = \frac{P_{разр}}{F_0},$  (3.2)

где  $F_0$  – площадь поперечного сечения образца до испытания.

#### Сжатие образца из чугуна

Образец для испытания – цилиндр из серого чугуна с высотой  $h = 1,5d$ .

Работа выполняется аналогично испытанию образца из стали с той лишь разницей, что:

- испытания проводятся до разрушения образца;
- разрушающая нагрузка ( $P_{разр}$ ) определяется по шкале силоизмерителя;
- из механических характеристик определяется только предел прочности материала (формула (3.2)).

#### Сжатие образцов из дерева вдоль волокон

Образцы для испытания – деревянные кубики с высотой ребра, например  $h = 20$  мм.

1. Замерить размеры образца.
2. Вычислить площадь поперечного сечения
3. Установить образец на нижнюю опорную плиту машины так, что-

бы действие сжимающей силы было направлено вдоль волокон.

4. Образец подвергнуть сжатию до разрушения. Разрушение происходит при небольших деформациях. При достижении наибольшей нагрузки ( $R_{разр}$ ) образец начинает разрушаться и нагрузка падает. Испытание следует при этом прекратить. Величину разрушающей нагрузки зафиксировать.

5. Зарисовать вид деформированного образца.

6. Определить предел прочности при сжатии дерева вдоль волокон (Формула (3.2)).

#### Сжатие образца из дерева поперек волокон

Испытание проводится в том же порядке, что и при испытаниях образцов из дерева вдоль волокон.

При сжатии образца поперек волокон за разрушающую нагрузку условно принимается та, при которой высота образца уменьшается на одну треть от первоначальной. В процессе этого испытания следует вести наблюдение с помощью линейки за высотой образца и по шкале силоизмерителя зафиксировать величину разрушающей нагрузки.

Определить условный предел прочности по формуле (3.2).

#### Контрольные вопросы

1. Как определяется величина нормальных напряжений в поперечном сечении сжатого образца?

2. Какие механические характеристики определяются при испытании на сжатие?

3. Чем обусловлены размеры образцов при испытании на сжатие?

4. Как испытывают образцы из пластичного материала? Какой вид имеет диаграмма сжатия мягкой стали?

5. Как испытывают на сжатие чугунные образцы? Каков характер разрушения чугунного образца?

6. Как испытывают на сжатие древесину? Как влияет, по вашему мнению, влажность древесины на её прочность?

7. Каково различие диаграммы сжатия древесины вдоль и поперек волокон? В каком направлении дерево прочнее при сжатии?

8. Как определяют разрушающую нагрузку при сжатии древесины



поперек волокон?

### Отчет о работе

1. Название и цель работы, тип и наименование испытательной машины, цена деления шкалы силоизмерителя.

2. Данные испытаний занести в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

Размеры образцов и результаты испытаний	Материал			
	Сталь	Чугун	Дерево	
			Вдоль волокон	Поперек волокон
Высота образца, мм				
Размеры поперечного сечения образца, мм				
Площадь поперечного сечения образца $F_0$ , мм <sup>2</sup>				
Нагрузка $P_t$ , соответствующая пределу текучести, кгс				
Нагрузка $P_{разр}$ , соответствующая пределу прочности (или условному пределу прочности), кгс				
Предел текучести, МПа				
Предел прочности, МПа (или условный предел прочности)				

3. Эскизы образцов до и после испытания, характер их деформации и разрушения.

4. Диаграммы сжатия для стали, чугуна, дерева вдоль и поперек волокон.

5. В отчете должны быть приведены формулы и вычисления результатов испытаний для таблицы 3.1.

## РАБОТА 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ СДВИГА ПРИ КРУЧЕНИИ

Цель работы: проверить справедливость закона Гука и определить модуль сдвига при кручении стального образца круглого поперечного сечения.

### Основные положения

При кручении в поперечных сечениях стержня возникает один внутренний силовой фактор – крутящий момент  $M_x$  и, как следствие, касательные напряжения  $\tau$ . Для стержня круглого поперечного сечения

$$\tau = \frac{M_x \cdot \rho}{J_p}, \quad (4.1)$$

где  $\rho$  – расстояние от центра тяжести сечения (полюса) до точки, в которой определяется напряжение;  
 $J_p$  – полярный момент инерции сечения. Для стержня круглого поперечного сечения диаметром  $d$

$$J_p = \frac{\pi d^4}{32}. \quad (4.2)$$

Максимального значения напряжения достигают в точках, наиболее удаленных от центра тяжести поперечного сечения ( $\rho_{\max} = d/2$ )

$$\tau_{\max} = \frac{M_x \rho_{\max}}{J_p} = \frac{M_x}{W_p}, \quad (4.3)$$

где  $W_p = \frac{J_p}{\rho_{\max}}$  – полярный момент сопротивления. Для стержня круглого поперечного сечения

$$W_p = \frac{\pi d^3}{16}. \quad (4.4)$$

Деформация стержня при кручении характеризуется взаимным поворотом смежных сечений. Угол поворота одного сечения относи-

тельно другого называется углом закручивания  $\varphi$ . В пределах упругой деформации угол закручивания, выраженный в радианах, связан с крутящим моментом линейной зависимостью (законом Гука)

$$\varphi = \frac{M_x \ell}{G J_p}, \quad (4.5)$$

где  $\ell$  – расстояние между сечениями, взаимный угол поворота которых определяется:

$G$  – модуль сдвига или модуль упругости второго рода, характеризующий жесткость материала при кручении.

Из формулы (4.5) следует, что для нахождения модуля сдвига из опыта  $G^\circ$  достаточно измерить величину крутящего момента  $M_x$  и соответствующего ему угла закручивания  $\varphi$  при заданных значениях  $\ell$  и  $J_p$

$$G^\circ = \frac{M_x \ell}{\varphi J_p}. \quad (4.6)$$

Для определения теоретического значения модуля упругости при сдвиге  $G$  используется зависимость между упругими постоянными для изотропного материала

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)}, \quad (4.7)$$

где  $E$  – модуль продольной упругости или модуль упругости первого рода;

$\mu$  – коэффициент поперечной деформации (или коэффициент Пуассона).

Работа проводится на испытательной машине модели КМ-50, предназначенной для испытания образцов из металла на кручение скручивающим моментом до 50 кгс·м (500 Н·м).

Для замера малых углов закручивания используется угломер С. В. Бояршинова (экстензометр) – рисунок 4.1. Кольца 1 и 2 неподвижно закреплены на образце на расстоянии  $\ell$ . При скручивании одно кольцо повернется относительно другого. Вследствие поворота планка, жестко закрепленная на кольце 1, будет перемещать стержень индикатора 3, установленного на кольце 2. При этом перемеще-

ние стержня индикатора  $\Delta$  пропорционально углу закручивания  $\varphi$  (в силу малости этого угла).

Отношение усредненных показаний индикатора (с учетом цены деления  $K$ ) на ступень нагрузки  $\Delta N_{\text{ср}}$  к расстоянию от оси испытываемого образца до индикатора и даст средний угол закручивания в радианах

$$\varphi_{\text{ср}} = \frac{\Delta N_{\text{ср}} K}{b} \quad (4.8)$$

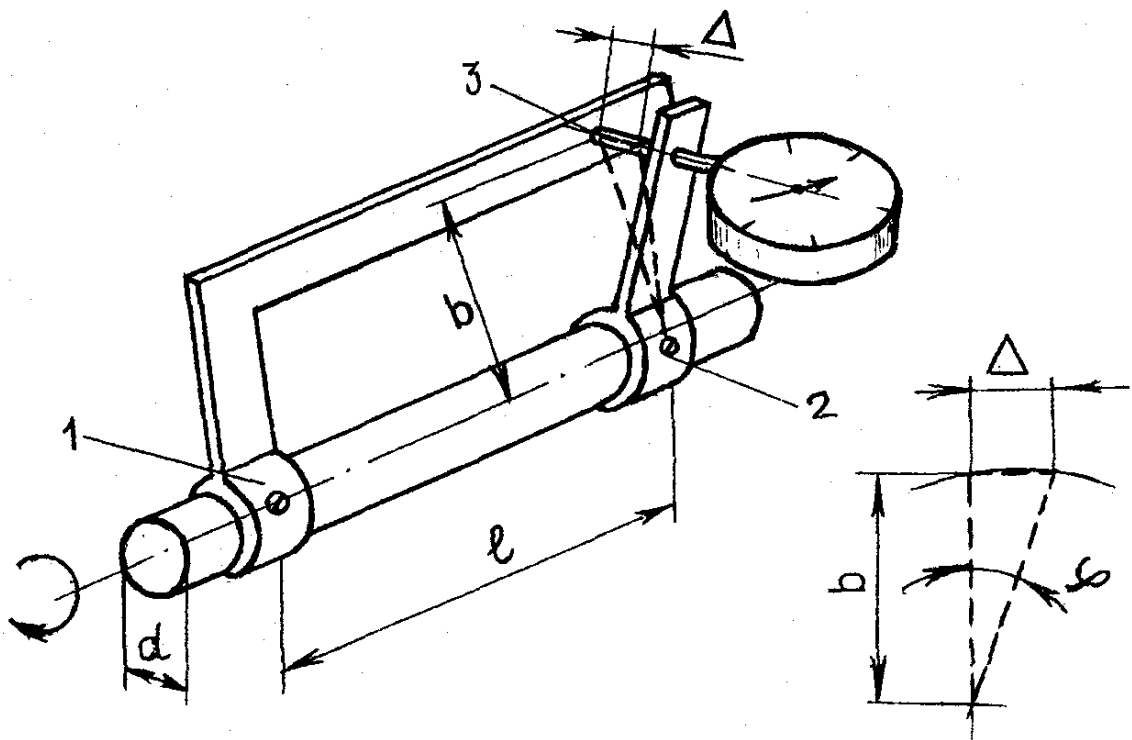


Рисунок 4.1

#### Порядок выполнения работы

1. Определить размеры образца – диаметр  $d$  и расчетную длину  $l$ ; расстояние от его продольной оси до индикатора  $b$ ; цену деления шкалы индикатора  $K$ .
2. Ограничивая напряжение (формула 4.3) пределом пропорциональности, вычислить величину наибольшего момента  $\max M_x$ , до

которого деформация стержня следует закону Гука

$$\max M_x \leq \tau_{пц} \cdot W_p, \quad (4.9)$$

где  $\tau_{пц}$  — предел пропорциональности материала образца (принять для стали  $\tau_{пц} = 100$  МПа).

3. Нагрузить образец предварительным крутящим моментом и установить индикатор угломера на нулевое деление.

4. Нагрузить образец равными ступенями  $\Delta M_x$  (не превышая  $\max M_x$ ), каждый раз фиксируя показания индикатора.

5. Вычислить среднеарифметическое приращение угла закручивания по формуле (4.8).

6. Определить опытное значение модуля сдвига  $G^{\circ}$ , используя формулу (4.6). Для расчета среднего значения  $G^{\circ}$  в формуле принять  $M_x = \Delta M_x$ ;  $\varphi = \varphi_{ср}$ .

7. Построить график  $\varphi = f(M_x)$  и убедиться, что в пределах точности проводимого опыта деформация образца подчиняется закону Гука.

8. Рассчитать теоретическое значение модуля сдвига  $G$  (формула 4.7), принимая для стали  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа;  $\mu = 0,25$ .

9. Сопоставить опытные и теоретические значения модуля сдвига, вычислив погрешность.

#### Контрольные вопросы

1. Какой внутренний силовой фактор возникает в поперечных сечениях стержня при кручении?

2. Запишите формулу для определения касательных напряжений в точках сечения при кручении стержня.

3. Как рассчитываются полярные моменты инерции и сопротивления для круга?

4. Какая зависимость существует между крутящим моментом и углом закручивания в области упругих деформаций? Запишите условие применимости закона Гука.

5. Какие свойства материала характеризует модуль сдвига?

6. Во сколько раз изменится угол закручивания, если диаметр стержня уменьшить вдвое?

7. Какая зависимость существует между упругими постоянными

Г, Е и М для изотропных материалов?

8. С помощью какого прибора производится замер угла закручивания? Объясните принцип его работы.

### Отчет о работе

1. Название и цель работы.

2. Диаметр образца  $d =$

Расчетная длина  $l =$

Расстояние от оси образца до индикатора  $b =$

Цена деления шкалы индикатора  $k =$

3. Полярный момент сопротивления

$$W_p = \frac{\pi d^3}{16} =$$

4. Наибольший крутящий момент, до которого деформация образца следует закону Гука при  $\tau_{пц} = 100$  МПа:

$$\max M_x = \tau_{пц} W_p =$$

5. Результаты опыта.

Таблица 4.1 – Результаты опыта

Крутящий момент, кгс·м		Показания индикатора		Угол закручивания, рад
$M_x$	$\Delta M_x$	$n$	$\Delta n$	$\varphi = \frac{n k}{b}$
Среднее значение $\Delta n_{ср} =$				

6. Усредненный угол закручивания  $\varphi_{ср}$ , рад

$$\varphi_{ср} = \frac{\Delta n_{ср} k}{b} =$$

7. Полярный момент инерции поперечного сечения образца

$$J_p = \frac{\pi d^4}{32} =$$

8. Опытное значение модуля сдвига  $G^o$

$$G^o = \frac{\Delta M_x \ell}{\varphi_{cp} J_p} =$$

9. Теоретическое значение модуля сдвига  $G$  при  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа;  
 $\mu = 0,25$

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} =$$

10. Процент погрешности опыта

$$\delta = \frac{G - G^o}{G} \cdot 100\% =$$

11. Диаграмма кручения  $M_x = f(\varphi)$ .

12. Выводы.

## РАБОТА 5 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТОНКОСТЕННОЙ ТРУБЫ ПРИ КРУЧЕНИИ

Цель работы: определение опытным путем величины главных напряжений и сопоставление их с экстремальными касательными напряжениями, полученными при теоретическом расчете.

### Основные положения

Кручением называется такой вид нагружения, при котором в поперечных сечениях стержня действует только крутящий момент. Прочие внутренние силовые факторы равны нулю. Из теории известно, что при кручении тонкостенной трубы (рисунок 5.1) материал во всех точках испытывает чистый сдвиг. При чистом сдвиге главные напряжения, растягивающее  $\sigma_1$  и сжимающее  $\sigma_3$ , равны максимальным касательным напряжениям

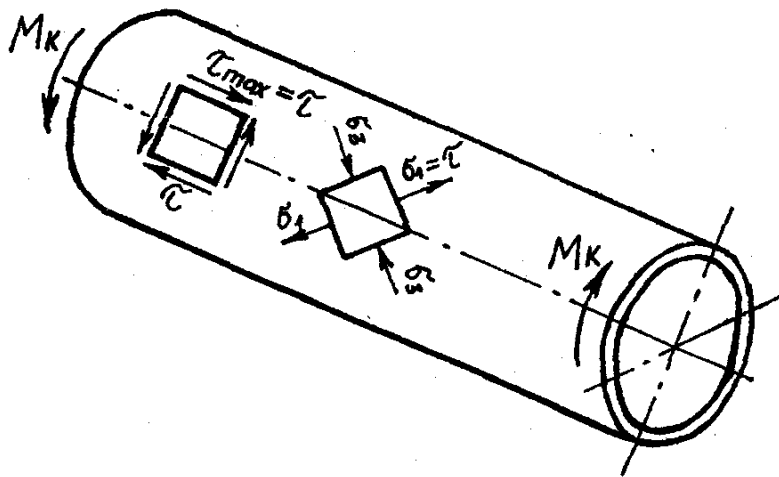


РИСУНОК 5.1

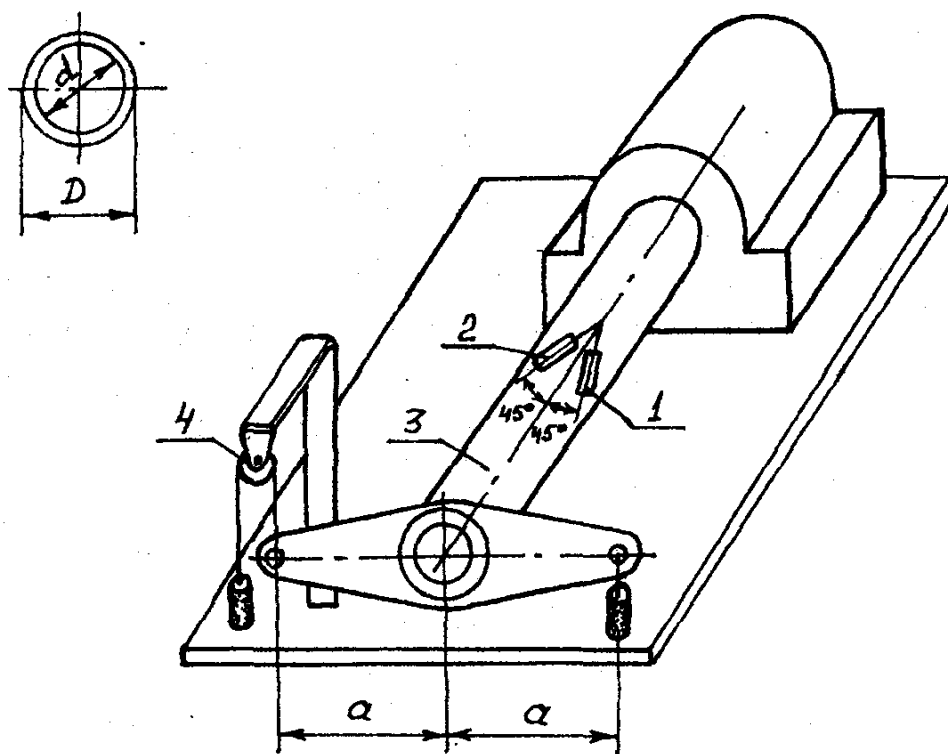


РИСУНОК 5.2



$$\tau_{max} = \sigma_1 = -\sigma_3. \quad (5.1)$$

Главные нормальные напряжения действуют на главных площадках. Главными площадками называются такие площадки, на которых действуют только нормальные напряжения, а касательные равны нулю. Нормальные напряжения, действующие на главных площадках, и носят название главных нормальных напряжений.

Главные площадки составляют с площадками чистого сдвига угол  $45^\circ$ . Главные напряжения  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  экспериментально определяются по величине главных деформаций  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_3$  (направление главных деформаций совпадает с направлением главных напряжений). Величина главных деформаций определяется по показаниям тензорезисторов (проволочных датчиков сопротивления), наклеенных на поверхность под углом  $45^\circ$  к её продольной оси (рисунок 5.2), по формуле

$$\varepsilon = \Delta AK, \quad (5.2)$$

где  $\varepsilon = \varepsilon_1 = -\varepsilon_3$  — главные деформации:

$\Delta A$  — степень приращения показаний датчиков сопротивления на степень нагружения;

$K$  — коэффициент чувствительности регистрирующего прибора,  $K = 10^{-5}$ .

На рисунке 5.2 представлена установка для проведения испытания. Образец 3 (в виде тонкостенной трубы) жестко закреплен одним концом в станине. Его нагружение производят при помощи двух равных по весу грузов  $P$ , создающих скручивающий момент. Один из грузов подвешен на нити, перекинутой через неподвижный блок. Рабочие тензорезисторы 1 и 2, наклеенные под углом  $45^\circ$  к продольной оси трубы, подключают поочередно к регистрирующему прибору ИДЦ-1 (измеритель деформаций цифровой).

После определения главных деформаций  $\varepsilon_1, \varepsilon_3$  по зависимости 5.2 необходимо определить главные напряжения  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$ :

$$\sigma_1 = -\sigma_3 = \frac{E}{1+\mu} \varepsilon. \quad (5.3)$$

Максимальные касательные расчетные (теоретические) напряжения можно определить по формуле:

$$\tau_{\max}(\text{теор}) = \frac{\Delta M_{\kappa}}{W_{\rho}}, \quad (5.4)$$

где  $\Delta M_{\kappa}$  — крутящий момент, соответствующий ступени нагружения  $\Delta P$ .  $\Delta M_{\kappa} = \Delta P 2a$ ;

$W_{\rho}$  — полярный момент сопротивления. Для поперечного сечения трубы

$$W_{\rho} = \frac{\pi D^3}{16} (1 - c^4), \quad c = \frac{d}{D}, \quad (5.5)$$

где  $D$  — наружный диаметр трубы;

$d$  — внутренний диаметр трубы.

Для оценки полученных результатов следует определить процент расхождения между напряжениями, вычисленными теоретическим и опытным путем:

$$\delta = \frac{\tau_{\max}(\text{теор.}) - \tau_{\max}(\text{опыт.})}{\tau_{\max}(\text{опыт.})} \cdot 100\%, \quad \tau_{\max}(\text{опыт.}) = \sigma_1 = -\sigma_3$$

#### Порядок выполнения работы

1. Замерить наружный и внутренний диаметр трубы.
2. Определить величину наибольшего крутящего момента, до которого деформации подчиняются закону Гука из условия:

$$M_{\kappa \max} \leq \tau_{\text{плз}} W_{\rho},$$

где  $\tau_{\text{плз}}$  — предел пропорциональности при сдвиге (для материала трубы  $\tau_{\text{плз}} = 100$  МПа).

3. Выбрать степень нагружения  $\Delta M_{\kappa}$  так, чтобы при 4–5 степенях нагружения крутящий момент не превышал величину  $M_{\kappa \max}$ .

4. Нагрузить трубу предварительной нагрузкой и снять показания с обоих тензорезисторов.

5. Нагрузить трубу равными степенями  $\Delta M_{\kappa}$  крутящего момента и зафиксировать показания тензорезисторов.

6. По результатам опыта найти среднее приращение показаний прибора на степень нагружения и вычислить главные напряжения  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  по формуле (5.3).

7. Вычислить величину максимального касательного напряжения на ступень нагружения по расчетной формуле (5.4).

8. Сравнить величину теоретических значений напряжений с результатами опыта, подсчитать погрешность.

#### Контрольные вопросы

1. Какой вид нагружения называется кручением?
2. Какой вид напряженного состояния испытывает тонкостенная труба при кручении?
3. Какие напряжения называются главными?
4. Какой вид имеет расчетная формула для определения максимальных касательных напряжений?
5. Как расположены датчики сопротивления на трубе и почему выбрано такое расположение?
6. Как определяется величина главных деформаций и главных напряжений?
7. На чем основан принцип действия датчика сопротивления?

#### Отчет о работе

1. Название и цель работы.
2. Схема напряженного состояния (рисунок 5.1). Зарисовать испытываемую трубу и схему расположения на ней датчиков сопротивления.
3. Название и тип измерительного прибора, коэффициент чувствительности прибора, база датчиков сопротивления.
4. Размеры тонкостенной трубы и геометрические характеристики её поперечного сечения:  
Наружный диаметр  $D =$   
Внутренний диаметр  $d =$   
Длина плеча рычага  $Q =$   
Полярный момент сопротивления  $W_p =$   
Величина максимального крутящего момента  $M_{\text{кmax}} =$
5. Результаты опыта.

Таблица 5.1 – Результаты опыта

N пп	Нагрузка		Показания датчиков сопротивления			
	P, Н	ΔP, Н	A1	Δ A1	A2	Δ A2

$$\Delta A1_{cp} =$$

$$\Delta A2_{cp} =$$

Крутящий момент, соответствующий ступени нагрузки Δ P:

$$\Delta M_k = \Delta P 2a =$$

6. Вычислить и записать в отчете величину главных напряжений по опытным данным, максимальное значение касательных напряжений, величину погрешности.

7. Выводы.

### РАБОТА 6 ИСПЫТАНИЕ НА КРУЧЕНИЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ РАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДО РАЗРУШЕНИЯ

Цель работы: определить величину предела прочности материалов при кручении; сопоставить характер разрушения образцов из стали, чугуна и дерева при кручении.

#### Основные положения

Из теории известно, что материал скручиваемого стержня находится в условиях плоского напряженного состояния, причем по площадкам, перпендикулярным и параллельным оси стержня, возникают только касательные напряжения, а по площадкам, наклоненным к оси на угол  $45^\circ$  (рисунок 6.1), действуют только нормальные (главные) напряжения  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$ . И те, и другие напряжения по величине равны между собой  $\sigma_1 = \tau$ ,  $\sigma_3 = -\tau$ , поэтому разрушение образца при кручении может произойти либо от касательных

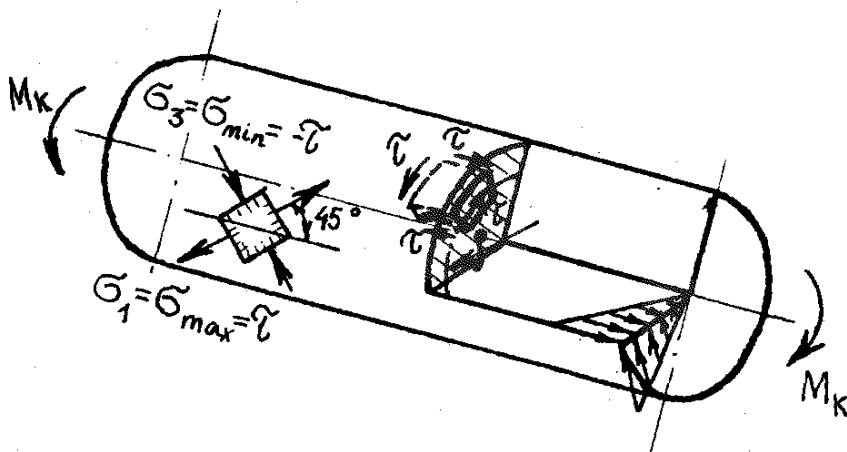


Рисунок 6.1

напряжений путем сдвига, либо от действия растягивающих нормальных напряжений, приводящих к отрыву.

Так как сопротивление сдвигу и отрыву у различных материалов различно, разрушение образцов при кручении будет происходить различным образом.

Процесс деформации образца при кручении наглядно отражается на диаграмме кручения. На рисунке 6.2 представлена диаграмма кручения для мягкой стали. Сначала деформация (угол закручивания) увеличивается прямо пропорционально величине крутящего момента  $M_k$  и на диаграмме вычерчивается прямая линия (наблюдается справедливость закона Гука), затем деформация растет значительно быстрее величины крутящего момента и на диаграмме появляется криволинейный участок. Напряжения у поверхности образца достигают предела текучести. Однако ввиду того, что при распространении пластической деформации вглубь сечения около оси стержня сохраняется упругое зерно, крутящий момент продолжает расти, хотя и медленно. Площадка текучести обычно не наблюдается, рост пластической деформации идет с непрерывным увеличением крутящего момента, обусловленным упрочнением металла. Разрушение стального образца происходит без образования шейки, незаметно и бесшумно, по сечению, перпендикулярному к оси образца. Диаграмма обрывается при наибольшем значении крутящего момента. Образец в месте разрушения имеет вид полированной блестящей поверхности, как бы срезанной ножом. Продольная черта, нанесенная на повер-

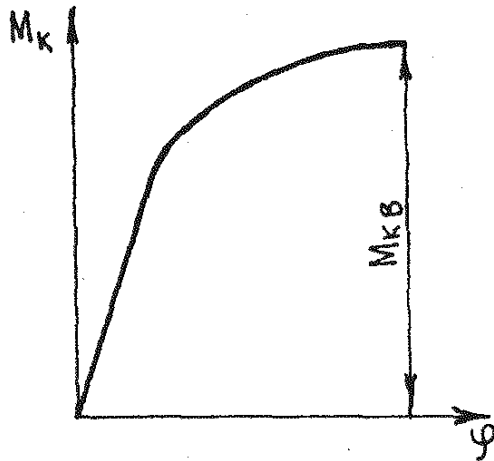


Рисунок 6.2

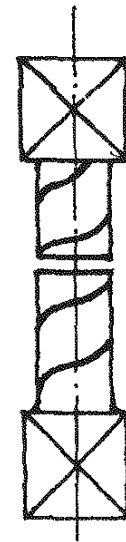


Рисунок 6.3

хность образца, обращается в винтовую линию (рисунок 6.3). Разрушение стального образца вызывается действием касательных напряжений, возникающих по площадкам, перпендикулярным к оси образца.

Для чугунного образца диаграмма кручения иногда имеет вид наклонной, почти прямой линии (рисунок 6.4): иногда – это кривая с выпуклостью вверх. Характер диаграммы свидетельствует о том, что больших остаточных деформаций чугунный образец не получает. Продольная черта, нанесенная на поверхность образца, лишь немного искривляется. Разрушение происходит внезапно и резко, с треском, подобным выстрелу, и всегда по наклонному сечению (рисунок 6.5). В месте разрушения хорошо видны следы отрыва металла, сопровождающиеся зернистой структурой излома. Причиной

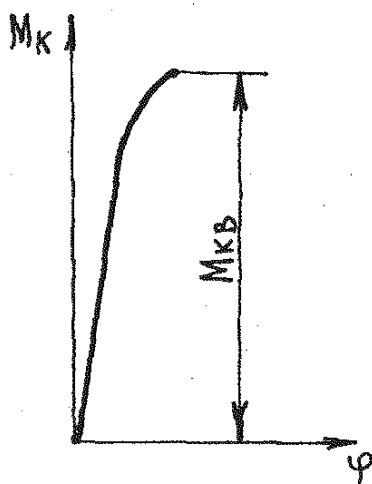


Рисунок 6.4

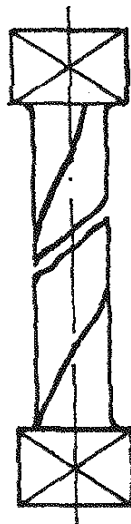


Рисунок 6.5

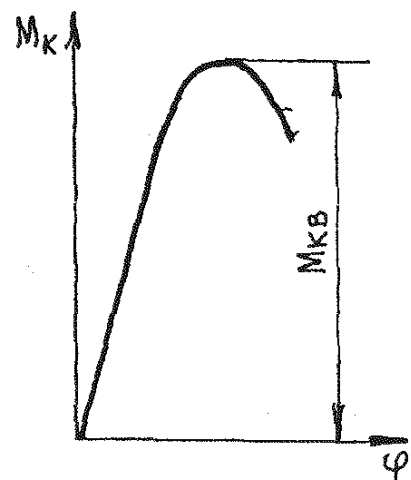


Рисунок 6.6

разрушения чугунного образца является разрыв, вызванный действием главных нормальных напряжений.

Диаграмма кручения для деревянного образца (сосна) показана на рисунке 6.6. В начальной стадии испытания крутящий момент возрастает пропорционально деформации (углу закручивания), затем после достижения максимальной величины начинает заметно уменьшаться вследствие образования в образце продольной трещины. Разрушение деревянного образца происходит в результате расслоения продольных волокон. Характер разрушения подтверждает наличие касательных напряжений по площадкам, параллельным образующим и проходящим через ось стержня.

Испытанию на кручение подвергаются образцы цилиндрической формы на машине КМ-50 с предельным крутящим моментом 50 кгс·м, или 500 Н·м.

#### Порядок выполнения работы

1. Измерить штангенциркулем диаметры образцов.
2. Подготовить диаграммный аппарат к работе.
3. Закрепить стальной образец в захватах машины, предварительно нанеся на его поверхность меловую линию параллельно его геометрической оси для визуального наблюдения за деформацией.
4. Включить электродвигатель и скручивать образец до его разрушения.
5. По шкале силоизмерителя определить величину разрушающего крутящего момента.
6. Вынуть части разрушенного образца, определить характер разрушения.
7. По величине крутящего момента, вызывающего разрушение образца, и диаметру его поперечного сечения вычислить предел прочности стального образца при кручении.
8. Сопоставить характер разрушения стального образца при кручении, растяжении и сжатии. Дать объяснение их разрушению.
9. В захватах машины установить последовательно чугунный и деревянный образцы. Испытания чугунного и деревянного образцов проводить в том же порядке, что и испытание стального образца.
10. Сопоставить характер разрушения при кручении стального, чугунного и деревянного образцов, дать объяснение их различию.

## Контрольные вопросы

1. Какой вид напряженного состояния испытывает материал бруса при кручении?
2. Какой вид имеет диаграмма кручения образца из мягкой стали? Как происходит разрушение этого образца при кручении?
3. Что является причиной разрушения чугунного образца при кручении?
4. Какой вид имеет диаграмма кручения для деревянных образцов?
5. В результате чего происходит разрушение деревянного образца при кручении? Какой вид напряжений вызывает разрушение этого образца?
6. При испытании было установлено, что один образец разрушался при угле закручивания  $60^\circ$ , а другой – при угле  $600^\circ$ . Сравните пластичность испытываемых материалов.

## Отчет о работе

1. Название и цель работы, тип и наименование испытательной машины.
  2. Результаты испытаний.
- Таблица 6.1 – Результаты испытаний

Размеры образцов и результаты испытаний	Материал образца		
	Сталь	Чугун	Дерево
Диаметр образца $d$ , мм			
Полярный момент сопротивления $W_p = \frac{\pi d^3}{16} =$			
Разрушающий момент $M_{кв}$ , кгс·м			
Угол закручивания $\varphi_B$ (до разрушения), град.			
Условный предел прочности $\tau_B = \frac{M_{кв}}{W_p} =$			
Характер разрушения образцов			



3. Эскизы образцов до и после разрушения.
4. Диаграммы кручения (рисунки 6.2, 6.4, 6.6).
5. Выводы по характеру разрушения образцов.
6. В отчете должны быть приведены вычисления  $W_p$  и  $\tau_v$ .

Валерий Андрианович Бубнов  
Нина Семеновна Емельянова  
Валентин Константинович Коротовских

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к выполнению лабораторных работ по  
сопротивлению материалов для студентов  
специальностей 120100, 120200, 030500,  
120500, 150100, 150200, 150300, 230100, 240400  
Часть 1

Редактор Н. М. Кокина

---

Подписано к печати 3.07.00

Формат 60x84 1/16

Заказ 150

Усл. п. л. 2,75

Тираж 250

Бумага тип. N 1

Уч. изд. л. 2,75

Цена свободная

---

Издательство Курганского государственного университета

640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25

Курганский государственный университет, ризограф