



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Сопротивление материалов»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к проведению лабораторной работы «Испытание стержней круглого поперечного сечения на кручение (Часть 2)» по дисциплинам

**«Сопротивление материалов»,
«Техническая механика»**

Автор
Еремин В.Д.

Ростов-на-Дону, 2022

Аннотация

Методические указания предназначены для обучающихся по техническим направлениям подготовки. Ставят своей задачей ознакомление студентов, изучающих общий курс сопротивления материалов, с вопросами экспериментального исследования зависимости деформации (угла закручивания) круглого стержня постоянного поперечного сечения от его длины.

Авторы

к.т.н., профессор Еремин В.Д.



ИСПЫТАНИЕ СТЕРЖНЕЙ КРУГЛОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ НА КРУЧЕНИЕ

1. Цель работы

Ознакомление студентов, изучающих общий курс сопротивления материалов, с вопросами экспериментального исследования зависимости деформации (угла закручивания) круглого стержня постоянного поперечного сечения от его длины.

2. Описание испытательной машины WP 100

Лабораторная работа проводится на установке WP 100, предназначенной для проведения экспериментов, связанных с исследованием деформаций стержней круглого поперечного сечения при кручении.

Оборудование может быть использовано как для проведения экспериментов студентами, так и для демонстрации преподавателями на учебных занятиях явления кручения стержней круглого поперечного сечения.

Конструкция установки имеет жесткие магнитные опоры, которые могут быть установлены практически в любое положение, что дает возможность непосредственного наблюдения за ходом экспериментов.

Прибор используется для решения широкого диапазона задач, связанных с изучением темы «Кручение стержней круглого поперечного сечения» в процессе обучения. Установка позволяет исследовать фундаментальные законы упругих деформаций, возникающих при кручении.

Полученные экспериментальные данные могут быть проанализированы как с помощью графиков, так и математически.

Студенты учатся планировать, выполнять и оценивать результаты измерений. По результатам экспериментальных данных у них появляется база для дальнейшего обсуждения причин, приводящих к разрушению испытываемого образца.

Установка обладает большими возможностями, направленными на развитие психомоторики у студентов при проведении экспериментов. У них при этом развивается чувство уверенности при работе с измерительным оборудованием.

Сопротивление материалов
Техническая механика

Установка представляет машину для проведения испытаний стержней круглого поперечного сечения на кручение. При проведении эксперимента, нагрузка прикладывается к различным стержням, после чего измеряется деформация.

По сравнению с деформацией исследуемого объекта, деформация машины при проведении эксперимента пренебрежительно мала. Однако, в отдельных случаях, собственная (внутренняя) деформация испытательной установки предварительно измеряется и в дальнейшем принимается во внимание.

Настольное устройство состоит из направляющей штанги, на которой установлены две подвижные опоры для проведения экспериментов на кручение.

В экспериментах на кручение захваты (захваты) на экспериментальном стенде состоят из фиксированных, жестко закрепленных патронов с одной стороны, и вращающихся патронов с другой стороны, с установочного механизма на основе рычага для создания крутящего момента (рис.1).

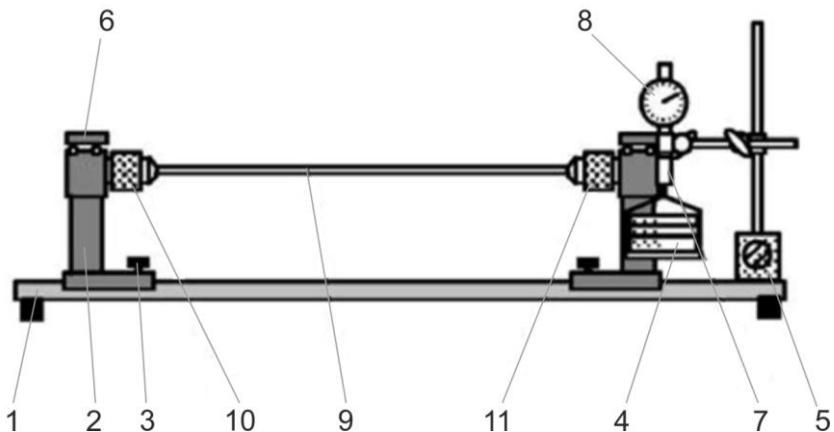


Рис.1. Схема испытательной машины WP 100

- На этом рисунке
- | | |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| 1-направляющая балка; | 2-подвижные опоры; |
| 3-крепежные винты для опор; | 4- прикладываемая нагрузка; |
| 5-магнитный держатель для манометра; | |

Сопrotивление материалов
Техническая механика

- 6-прижимная пластина и винт;
- 7-рычаг для создания крутящего момента;
- 8-стрелочный индикатор;
- 9-испытуемый образец; 10-жестко закрепленный зажим;
- 11-вращающийся зажим.

Стрелочный индикатор (8) располагается на расстоянии $s=57.3$ мм от оси вращения испытуемого стержня (рис.2).

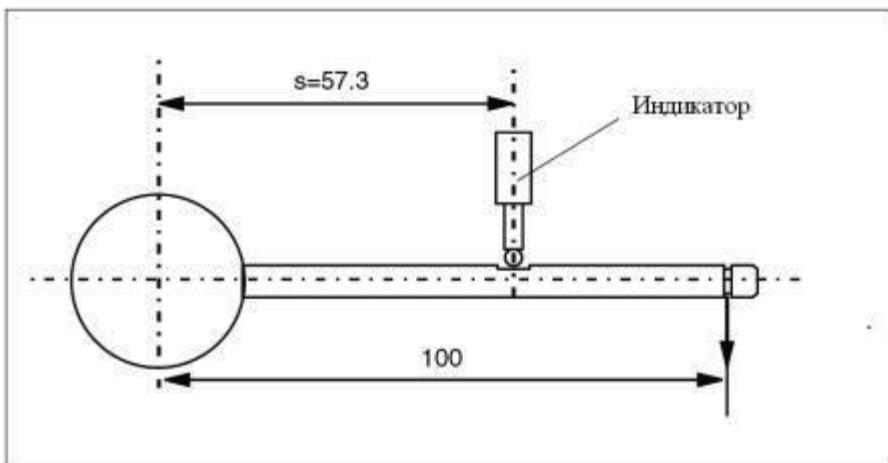
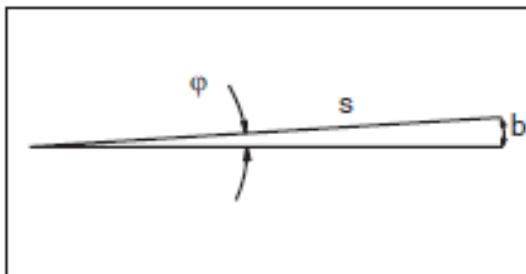


Рис.2. Рычаг для создания крутящего момента

Для небольшого угла φ



формула для определения угла в радианах имеет вид

Сопротивление материалов
 Техническая механика

$$\varphi = \frac{b}{s} \quad (1)$$

Для этого угла φ сектор b может быть очень точно определен по шкале стрелочного индикатора y (рис.3)

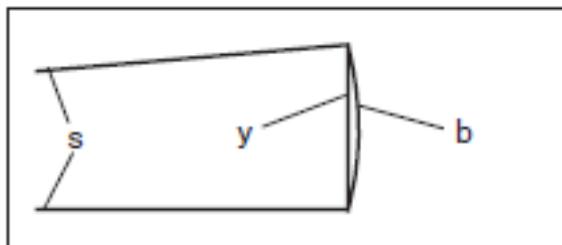


Рис. 3. Шкала стрелочного индикатора y

Здесь
 b - длина дуги;
 s - расстояние от стрелочного индикатора до оси вращения испытываемого стержня (рис.2).

Следовательно,

$$\varphi = \frac{b}{s} = \frac{y}{s} = \frac{y}{57,3} \quad (2)$$

Так как

$$2 \cdot \pi \approx 360^\circ,$$

то

$$\frac{1}{57,3} \approx 1^\circ \quad (3)$$

Поэтому

1 мм шкалы стрелочного индикатора y соответствует углу закручивания стержня $\varphi = 1$ градус.

В связи с этим, для более простого перевода радианов в градусы и было выбрано расстояние от стрелочного индикатора

Сопrotивление материалов Техническая механика

до оси вращения испытываемого стержня $s = 57,3$ мм.

3. Испытываемые образцы

Для проведения экспериментов на кручение испытываемые образцы стержней, изготовленные из различных материалов, длиной L_0 , круглого поперечного сечения диаметром d (рис.4), устанавливаются в испытательную машину.

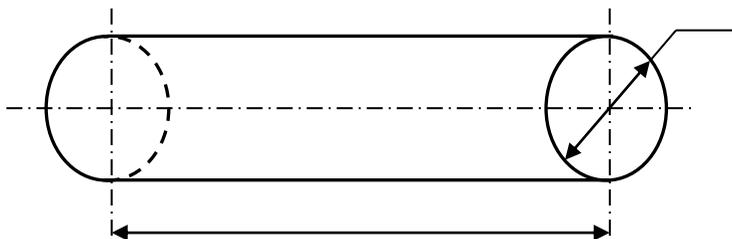


Рис.4. Эскиз испытываемых образцов

Имеется следующий комплект стержней для проведения испытаний на кручение:

Материал стержня	Размеры сечения d , мм	Длина стержня L_0 , мм	Материал стержня	Размеры сечения d , мм	Длина стержня L_0 , мм
Латунь /Ms/	10	340	Сталь /St/	10	50
Латунь /Ms/	10	50	Сталь /St/	12	340
Сталь /St/	5	340	Сталь /St/	12	50
Сталь /St/	5	50	Алюминий /Al/	10	50
Сталь /St/	6	340	Алюминий /Al/	10	240
Сталь /St/	6	50	Алюминий /Al/	10	340
Сталь /St/	7	340	Алюминий /Al/	10	440

Сопротивление материалов
 Техническая механика

Сталь /St/	7	50	Алюминий / Al/	10	540
Сталь /St/	8	340	Алюминий / Al/	10	640
Сталь /St/	10	340	-	-	-

4. Описание эксперимента на кручение

Испытывается стержень круглого поперечного сечения диаметром d , с расчетной длиной L , жестко заземленный одним концом (рис.5).

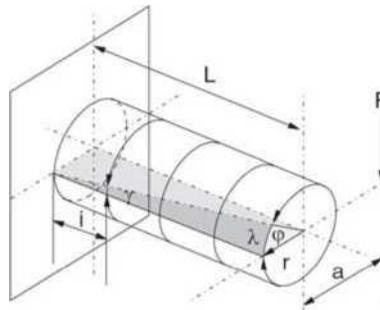


Рис. 5. Испытание стержня на кручение

На этом рисунке

L – расчетная длина испытываемого стержня;

r - радиус поперечного сечения стержня;

λ – сектор;

ϕ - угол закручивания стержня;

γ - угол сдвига волокна, лежащего на поверхности стержня.

Так как сила P , действующая на рычаг, перпендикулярна к оси стержня, то в испытываемом образце возникает крутящий момент

$$M_{кр} = P \cdot a, \quad (4)$$

где

P -усилие в ньютонах;

a - длина рычага

($a=100\text{мм}$).

Соппротивление материалов Техническая механика

Данный вид нагрузки является основным для проводимых экспериментов. Левый патрон испытательной машины выступает в качестве неподвижного зажима /захвата/, в то время как правый патрон (свободный конец балки) закреплен на шаровом вращающемся подшипнике (вращающийся зажим).

Расчетная длина испытываемого образца L рассчитывается как расстояние между передними плоскостями жестко закрепленного и вращающегося зажимов /захватов/ испытательной установки.

В некоторых экспериментах собственная деформация испытательной установки /кручение патрона или конической оправки/ предельно мала по сравнению с деформацией испытываемого образца. *Однако в большинстве случаев проводимых экспериментов на кручение собственная деформация испытательной установки должна быть предварительно определена и затем приниматься во внимание в дальнейших расчетах.*

Деформация рычага настолько мала, что не влияет на результаты измерений.

Момент трения в подшипниках также практически не влияет на результаты измерений.

5. Основные теоретические положения

Кручением называют такой вид деформации стержня, при котором в его поперечных сечениях возникают только одни крутящие моменты $M_{кр}$, а остальные внутренние усилия (N , Q , $M_{изг}$) равны нулю.

Сечения, которые расположены в плоскостях, перпендикулярных к геометрической оси стержня, называются поперечными сечениями. Размеры поперечного сечения стержня значительно меньше его длины.

Крутящий момент $M_{кр}$ в любом поперечном сечении стержня численно равен алгебраической сумме внешних моментов, приложенных по одну сторону от сечения.

Будем считать крутящий момент $M_{кр}$ положительным, если для наблюдателя, смотрящего на сечение, он представляется направленным против часовой стрелки.

При кручении происходит поворот одного поперечного се-

Сопrotивление материалов Техническая механика

чения относительно другого на некоторый угол φ , называемый углом закручивания.

Предположения (гипотезы), положенные в основу теории кручения круглых стержней:

1. Материал стержня подчиняется закону Гука, т.е. напряжения в стержне не выходят за предел пропорциональности.

2. Размеры поперечных сечений стержня невелики по сравнению с его длиной.

3. Выполняется гипотеза Бернулли (гипотеза плоских сечений), т.е. поперечные сечения стержня, плоские и нормальные к оси стержня до приложения к нему нагрузки, остаются плоскими и нормальными к его оси и при действии нагрузки.

4. Радиусы поперечных сечений при деформации не искривляются.

5. Прямолинейная ось стержня (ось кручения) до деформации, остается прямолинейной и после деформации, а все поперечные сечения поворачиваются вокруг этой оси по отношению друг к другу на угол закручивания φ .

6. Расстояния между поперечными сечениями стержня в процессе деформации не изменяются, следовательно, продольные волокна не удлиняются и не укорачиваются, т.е. длина стержня остается прежней.

Справедливость этих принятых допущений (гипотез) подтверждается тем, что полученные на их основе формулы хорошо согласуются с экспериментальными данными.

На основании принятых допущений кручение круглого стержня можно представить как результат сдвигов, вызванных взаимным поворотом поперечных сечений относительно друг друга. Вследствие этого в поперечных сечениях стержня при кручении возникают только касательные напряжения, которые определяются по формуле

$$\tau = \frac{M_{кр}}{I_{\rho}} \cdot \rho \quad (5)$$

Эта формула позволяет определять касательные напряжения в любой точке круглого поперечного сечения. Максимальные касательные напряжения при кручении, возникающие в крайних точках сечения, определяются по формуле

Сопротивление материалов
 Техническая механика

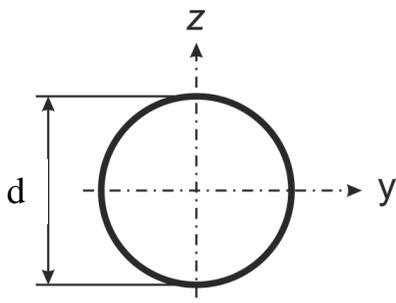
$$\tau_{\max} = \frac{M_{\text{кр}}}{I_{\rho}} \cdot r = \frac{M_{\text{кр}}}{W_{\rho}} \quad (6)$$

Величина

$$W_{\rho} = \frac{I_{\rho}}{r}$$

называется полярным моментом сопротивления круглого сечения.

Полярный момент инерции и полярный момент сопротивления для сплошного круглого поперечного сечения стержня определяются по формулам



$$I_{\rho} = \frac{\pi d^4}{32} \quad (7)$$

$$W_{\rho} = \frac{\pi d^3}{16} \quad (8)$$

Угол сдвига волокна, лежащего на поверхности стержня (рис.5.), определяется равенством

$$\gamma = \frac{\lambda}{L} \quad (9)$$

Закон Гука при сдвиге имеет вид

$$\tau = G \cdot \gamma \quad (10)$$

Угол закручивания стержня φ в радианах определяется по формуле

Сопротивление материалов
 Техническая механика

$$\varphi = \frac{M_{кр} \cdot L}{G \cdot I_p} \quad (11)$$

Переход к градусам делается по общеизвестной формуле

$$\varphi^{\circ} = \varphi \cdot \frac{180^{\circ}}{\pi},$$

следовательно

$$\varphi^{\circ} = \frac{180^{\circ}}{\pi} \cdot \frac{M_{кр} \cdot L}{G \cdot I_p} \quad (12)$$

Для оценки жесткости стержня вводится другая величина - относительный угол закручивания. Относительный угол закручивания - это отношение значения угла закручивания φ к расчетной длине образца L

$$\theta = \frac{M_{кр}}{G \cdot I_p} \quad (13)$$

В этих формулах (рис.5.):

τ - касательные напряжения при кручении стержня;

$M_{кр}$ - крутящий момент;

I_p - полярный момент инерции поперечного сечения стержня;

W_p - полярный момент сопротивления поперечного сечения стержня;

ρ - координата произвольной точки поперечного сечения стержня;

r - радиус поперечного сечения стержня.

d - диаметр поперечного сечения стержня;

L - расчетная длина испытываемого стержня;

λ - сектор;

γ - угол сдвига волокна, лежащего на поверхности стержня;

φ - угол закручивания стержня;

θ - относительный угол закручивания стержня;

G - модуль упругости второго рода (модуль упругости при

сдвиге).

Величину $G \cdot I_p$ называют жесткостью стержня при кручении. Она характеризует сопротивление стержня закручиванию.

На практике для многих материалов первоначально экспериментально определяется модуль упругости первого рода E , после чего определяется модуль упругости второго рода G .

Между величинами модуля упругости первого рода E (модуль продольной упругости) и модулем упругости второго рода G (модуль упругости при сдвиге) для одного и того же материала существует зависимость

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} \quad (14)$$

Как видно, численное соотношение между G и E для данного материала зависит от значения коэффициента Пуассона μ . Для большинства материалов, в том числе и для стали, можно приближенно принимать $G \approx 0,385 E$.

6. Порядок проведения испытаний

6.1. Определение собственной /внутренней/ деформации испытательной машины WR 100

Для стержня круглого поперечного сечения, жестко закрепленного одним концом, расчетная схема которого показана на рис.6, опытным путем определяем величину его деформации φ (угол закручивания φ).

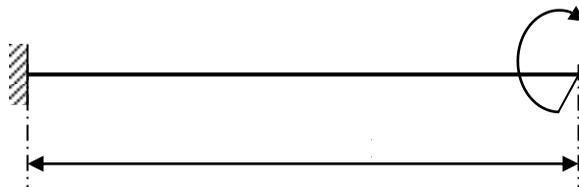


Рис.6. Расчетная схема испытываемого стержня

Сопrotивление материалов Техническая механика

Исходные данные:

Испытываются на кручение 3 образца, изготовленные из стали (St), латуни (Ms) и алюминия (Al). Каждый испытываемый стержень имеет круглое поперечное сечение с нормативным диаметром $d=10$ мм. Нормативная длина испытываемых образцов $L_0=50$ мм. К испытываемым образцам прикладывается внешняя нагрузка величиной $m=1$ кг, т.е. $P=9,81$ Н. Следовательно, в испытываемом образце возникает крутящий момент (4) $M_{кр} = P \cdot a = 9,81 \text{ Н} \cdot 100 \text{ мм} = 981 \text{ Н} \cdot \text{мм}$ (рис.6).

Методика проведения эксперимента:

Определение собственной /внутренней/ деформации испытательной установки производится в следующей последовательности:

1. Измеряем фактические размеры поперечного сечения испытываемых стержней (d) и заносим их в журнал испытаний №1.

2. Устанавливаем испытываемый стержень в жестко закрепленный и вращающийся захваты /захваты/ испытательной установки.

3. Жестко закрепленный и вращающийся захваты /захваты/ испытательной установки сводим друг к другу, оставляя между ними зазор $\Delta \approx 1$ мм. Данные условия означают проведение испытания на кручение стержня с расчетной длиной $L \approx 0$ мм (рис.7).

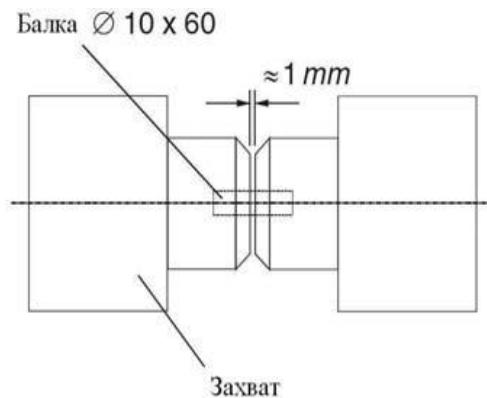


Рис.7. Предварительное испытание стержня на кручение

Сопrotивление материалов Техническая механика

4. Обнуляем показания стрелочного индикатора.
5. Осторожно нагружаем испытываемый стержень нагрузкой в 1 кг.
6. Снимаем показания стрелочного индикатора u и заносим их в журнал испытаний №1 (табл.1).
7. Вычисляем величину собственной деформации испытательной машины $u_{\text{соб}}$, т.е.

$$u_{\text{соб}} = \frac{y_{St} + y_{Ms} + y_{Al}}{3}$$

8. Анализируя полученные в результате данного эксперимента значения стрелочного индикатора u / значения угла закручивания φ стержня/ для испытываемых образцов, изготовленных из разных материалов, можно сделать следующие выводы:

- собственная /внутренняя/ деформация испытательной установки $u_{\text{соб}}$ не зависит от типа материала испытываемого образца;

- собственная /внутренняя/ деформация испытательной установки при внешней нагрузке равной $m=1\text{кг}$, т.е. $M_{\text{кр}} = 981\text{Н}\cdot\text{мм}$, приблизительно равна

$$u_{\text{соб}} \approx 0,09\text{мм}.$$

6.2. Исследование зависимости деформации (угла закручивания φ) круглого стержня постоянного поперечного сечения от его длины

Для стержня круглого поперечного сечения, жестко закрепленного одним концом, расчетная схема которого показана на рис.6, опытным путем определяем величину его деформации (угол закручивания φ).

На основании формулы (12), имеем

$$\varphi^{\circ} = \frac{180^{\circ}}{\pi} \cdot \frac{M_{\text{кр}} \cdot L}{G \cdot I_{\rho}}$$

где

φ° - величина угла закручивания (в градусах);

Соппротивление материалов Техническая механика

$M_{кр}$ - величина внешней нагрузки (крутящего момента);

L - расчетная длина испытываемого стержня (расстояние между зажимами /захватами/ испытательной установки);

GI_p – жесткость испытываемого стержня при кручении.

Исходные данные:

Испытываются на кручение 5 образцов из алюминия (Al) (рис.6). Каждый испытываемый стержень имеет круглое поперечное сечение с нормативным диаметром $d=10$ мм. Нормативные длины испытываемых образцов соответственно равны $L_0 = 240$ мм, 340мм, 440мм, 540мм и 640мм.

Полярный момент инерции круглого поперечного сечения испытываемых образцов определяется по формуле (7):

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

Внешняя нагрузка величиной $m=1$ кг, т.е. $P=9,81$ Н, прикладывается на правом свободном конце испытываемого стержня. Следовательно, в испытываемом образце возникает крутящий момент (4) $M_{кр} = P \cdot a = 9,81 \text{Н} \cdot 100 \text{мм} = 981 \text{Н} \cdot \text{мм}$ (рис.6).

Методика проведения эксперимента:

Исследование зависимости деформации (угла закручивания φ) круглого стержня постоянного поперечного сечения от его длины производится в следующей последовательности:

1. Измеряем фактические размеры поперечного сечения испытываемых стержней (d) и заносим их в журнал испытаний №2 (табл.1).

2. Вычисляем по формуле (7) полярные моменты инерции I_p круглого поперечного сечения испытываемых образцов и заносим их в журнал испытаний №2 (табл.1).

3. Вычисляем жесткость стержней при кручении $G \cdot I_p$ и заносим полученные значения в журнал испытаний №2 (табл.1).

4. Расчетные длины испытываемых стержней, соответственно равные $L=200, 300, 400, 500$ и 600 мм, предварительно отмечаем карандашом до проведения эксперимента (рис.8).

Сопrotивление материалов
Техническая механика

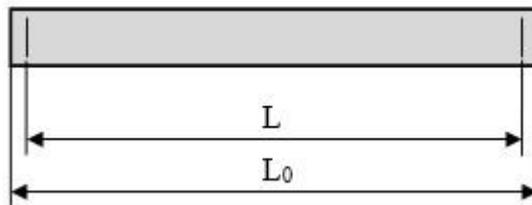


Рис.8. Образец для испытания с метками

5. Устанавливаем испытываемый стержень в зажимы /захваты/ испытательной установки.

6. Жестко закрепленный и вращающийся зажимы /захваты/ испытательной установки последовательно устанавливаем на расстоянии 200, 300, 400, 500 и 600 мм. Расчетные длины испытываемых стержней при этом составляют $L = 200, 300, 400, 500$ и 600 мм.

7. Обнуляем показания стрелочного индикатора.

8. Осторожно нагружаем испытываемый образец нагрузкой в 1 кг.

9. Снимаем показания стрелочного индикатора y и заносим их в журнал испытаний №2 (табл.2).

10. Вычисляем величину деформации испытываемого стержня y' с учетом поправки на значение собственной (внутренней) деформации испытательной машины ($y_{\text{соб}}$) и заносим в журнал испытаний №2 (табл.2).

$$y' = y - y_{\text{соб}}$$

11. По формуле (12) вычисляем теоретическое значение деформации испытываемого стержня (угла закручивания $\varphi^{\text{теор}}$) и заносим это значение в журнал испытаний №2 (табл.2).

12. Определяем погрешность между опытным и теоретическим значениями деформации испытываемого стержня и заносим это значение в журнал испытаний №2 (табл.2). Для этого полученное опытным путем значение деформации испытываемого стержня y' (угла закручивания $\varphi^{\text{опыт}}$) сравниваем с соответствующим теоретическим значением ($\varphi^{\text{теор}}$), вычисленным по формуле (12), расхождение между ними не должно превышать 5 %, т.е.

Сопrotивление материалов Техническая механика

$$\varepsilon = \left| \frac{\varphi^{\text{опыт}} - \varphi^{\text{теор}}}{\varphi^{\text{опыт}}} \right| \cdot 100\% \leq 5\%$$

13. По полученным в эксперименте значениям угла закручивания $\varphi^{\text{опыт}}$ исследуем зависимость деформации (угла закручивания φ) круглого стержня постоянного поперечного сечения от его длины. Из формулы (12) видно, что можно построить зависимость φ от L .

Для этого:

- по полученным значениям φ' (угол закручивания $\varphi^{\text{опыт}}$) и L строим график 1, показывающий зависимость деформации круглого стержня постоянного поперечного сечения от его длины. Для чего по оси абсцисс откладываем расчетные длины стержней (L), а по оси ординат - соответствующие значения деформаций φ' (угол закручивания $\varphi^{\text{опыт}}$) испытываемых стержней.

Образец графика 1

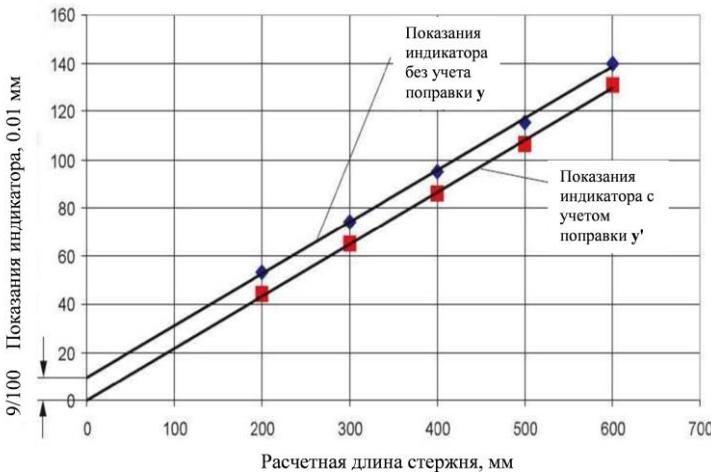


График 1. Зависимость деформации круглого стержня постоянного поперечного сечения от его длины

Сопrotивление материалов Техническая механика

Примечание

Если мы построим график 1 от неисправленных показаний индикатора y и L , то будет пересечение этого графика с осью ординат. Это означает, что действительно испытательная машина при заданной внешней нагрузке $m=1\text{кг}$ ($M_{кр} = 981\text{Н}\cdot\text{мм}$) имеет внутреннюю деформацию $u_{соб} \approx 0,09\text{мм}$.

Именно поэтому предварительно измеряется собственная /внутренняя/ деформация испытательной машины $u_{соб}$ при заданной внешней нагрузке массой m ($M_{кр}$).

7.Контрольные вопросы

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Какое сечение стержня называется поперечным сечением?
3. Какой вид деформации стержня называется кручением?
4. Какие внутренние силовые факторы возникают в поперечном сечении стержня при кручении?
5. Чему равен крутящий момент в рассматриваемом сечении стержня?
6. Правило знаков для крутящего момента?
7. Какие деформации получают поперечные сечения стержня при кручении?
8. Что называется углом закручивания φ ?
9. Какие гипотезы положены в основу теории кручения круглых стержней?
10. По какой формуле вычисляются касательные напряжения при кручении?
11. В каких точках поперечного сечения возникают наибольшие касательные напряжения?
12. Какая величина называется полярным моментом инерции?
13. Какая величина называется полярным моментом сопротивления?
14. По какой формуле вычисляется угол закручивания φ ?
15. Что такое относительный угол закручивания θ ?
16. Что называется жесткостью поперечного сечения стержня при кручении?
17. Какая зависимость существует между E , G и μ ?

8. Основные правила техники безопасности

1. Нельзя допускать к испытательной установке лиц, не ознакомившихся с ее устройством.
2. Запрещается устанавливать образец и приводить в действие испытательную машину без разрешения преподавателя.
3. Лабораторную работу нужно выполнять в соответствии с выше приведенной инструкцией.
4. Нагружение испытываемого образца проводить аккуратно, при этом нельзя превышать максимальную допускаемую нагрузку на стержень. Грузы не бросать.
5. При перерывах в работе испытательная установка не должна находиться в нагруженном состоянии.
6. Во время испытания запрещается трогать образец руками.
7. Необходимо находиться от испытываемого образца на расстоянии не менее 0,5м.
8. Запрещается подходить к лабораторным установкам, не связанным с выполнением данной работы.

/Образец/

ОТЧЕТ

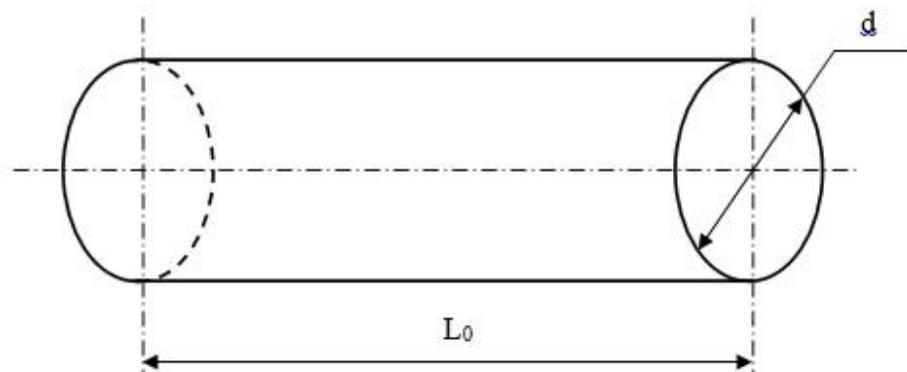
по лабораторной работе № ____

«Испытание стержней круглого поперечного сечения на кручение»

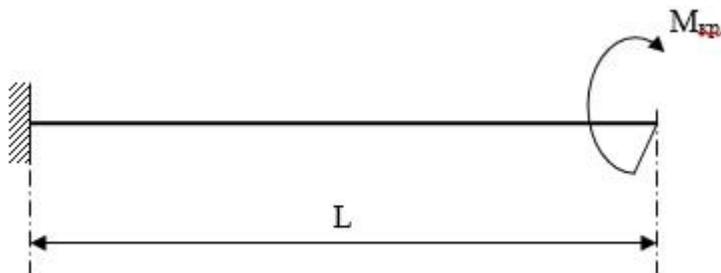
Дата проведения работы _____

1. Наименование машины - испытательная машина WP 100

2. Эскиз испытываемых образцов:



3. Расчетная схема испытываемого стержня



Журнал испытаний №1
«Определение собственной /внутренней/
деформации испытательной машины WP 100»

1.Характеристика испытываемых образцов:

- фактическая длина испытываемого образца $L_0=50\text{мм}$;
- расчетная длина испытываемого образца $L \approx 0 \text{ мм}$;
- фактические размеры круглого поперечного сечения стержня $d=10 \text{ мм}$.

2.Внешняя нагрузка $m=1\text{кг}$, т.е. $P=9,81\text{Н}$, следовательно $M_{кр} = 981\text{Н}\cdot\text{мм}$.

3.Обработка данных испытаний:

3.1. Снимаем показания индикатора y и заносим полученные значения в табл.1.

3.2.Вычисляем величину собственной /внутренней/ деформации испытательной машины, в мм

$$y_{\text{соб}} = \frac{y_{St} + y_{Ms} + y_{Al}}{3} = \frac{0,11 + 0,11 + 0,10}{3} = 0,107$$

<i>Материал образца</i>	<i>Сталь (St)</i>	<i>Латунь (Ms)</i>	<i>Алюминий (Al)</i>
Показания индикатора y , в мм	0,11	0,11	0,10
Собственная деформация испытательной установки $y_{\text{соб}}$, в мм	0,107		

Журнал испытаний №2
«Исследование зависимости деформации (угла
закручивания) круглого стержня постоянного
поперечного сечения от его длины»

1.Характеристика испытываемых образцов:

- материал испытываемых образцов - алюминий (Al);
- модуль упругости второго рода $G=0,269 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$;

Сопrotивление материалов Техническая механика

- длины испытываемых образцов $L_0=240,340,440,540$ и 640мм ;
- расчетные длины испытываемых образцов $L=200,300,400,500$ и 600мм ;
- фактические размеры круглого поперечного сечения стержней $d=10,0\text{мм}$;
- полярный момент инерции поперечного сечения балки

$$I_p = \frac{\pi d^4}{32} = \frac{3,14 \cdot 10,0^4}{32} = 981\text{мм}^4$$

- фактическая жесткость испытываемых стержней при кручении

$$GI_p = 0,269 \cdot 10^5 \cdot 981 = 26,4 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм}^2.$$

2. Внешняя нагрузка $m=1\text{кг}$, т.е. $P=9,81\text{Н}$, следовательно $M_{кр} = 981\text{Н} \cdot \text{мм}$.

3. Обработка данных испытаний:

Вычисляем по соответствующим формулам значение деформации испытываемого стержня y' с учетом поправки на значение собственной (внутренней) деформации испытательной машины $y_{соб}$, теоретическое значение деформации испытываемого стержня (угол закручивания $\varphi^{теор}$), погрешность между опытным и теоретическим значениями деформации испытываемого стержня и заносим полученные значения в табл.2:

Эксперимент №1 - расчетная длина испытываемого образца **$L=200$ мм:**

-деформация (**угол закручивания $\varphi^{опыт}$**) испытываемого стержня y' с учетом поправки на значение собственной (внутренней) деформации испытательной машины $y_{соб}$, в мм

$$y' = y - y_{соб} =$$

Соппротивление материалов
 Техническая механика

- теоретическое значение деформации (угол закручивания $\Phi^{\text{теор}}$) испытываемого круглого стержня в градусах

$$\Phi^{\text{теор}} = \frac{180^{\circ}}{\pi} \cdot \frac{M_{\text{кр}} \cdot L}{G \cdot I_{\rho}} =$$

- погрешность между опытным и теоретическим значениями деформации испытываемого круглого стержня

$$\varepsilon = \left| \frac{\Phi^{\text{опыт}} - \Phi^{\text{теор}}}{\Phi^{\text{опыт}}} \right| \cdot 100\% =$$

Эксперимент №2 - расчетная длина испытываемого образца
L=300 мм:

-деформация (угол закручивания $\Phi^{\text{опыт}}$) испытываемого стержня y' с учетом поправки на значение собственной (внутренней) деформации испытательной машины $y_{\text{соб}}$, в мм

$$y' = y - y_{\text{соб}} =$$

- теоретическое значение деформации (угол закручивания $\Phi^{\text{теор}}$) испытываемого круглого стержня, в градусах

$$\Phi^{\text{теор}} = \frac{180^{\circ}}{\pi} \cdot \frac{M_{\text{кр}} \cdot L}{G \cdot I_{\rho}} =$$

- погрешность между опытным и теоретическим значениями деформации испытываемого круглого стержня

$$\varepsilon = \left| \frac{\Phi^{\text{опыт}} - \Phi^{\text{теор}}}{\Phi^{\text{опыт}}} \right| \cdot 100\% =$$

Эксперимент №3 - расчетная длина испытываемого образца
L=400 мм:

-деформация (угол закручивания $\Phi^{\text{опыт}}$) испытываемого стержня y' с учетом поправки на значение собственной (внутрен-

Сопротивление материалов
 Техническая механика

ней) деформации испытательной машины $y_{\text{соб}}$, в мм

$$y' = y - y_{\text{соб}} =$$

- теоретическое значение деформации (угол закручивания $\varphi^{\text{теор}}$) испытываемого круглого стержня, в градусах

$$\varphi^{\text{теор}} = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{M_{\text{кр}} \cdot L}{G \cdot I_{\rho}} =$$

- погрешность между опытным и теоретическим значениями деформации испытываемого круглого стержня

$$\varepsilon = \left| \frac{\varphi^{\text{опыт}} - \varphi^{\text{теор}}}{\varphi^{\text{опыт}}} \right| \cdot 100\% =$$

Эксперимент №4 - расчетная длина испытываемого образца **L=500 мм**:

- деформация (угол закручивания $\varphi^{\text{опыт}}$) испытываемого стержня y' с учетом поправки на значение собственной (внутренней) деформации испытательной машины $y_{\text{соб}}$, в мм

$$y' = y - y_{\text{соб}} =$$

- теоретическое значение деформации (угол закручивания $\varphi^{\text{теор}}$) испытываемого круглого стержня, в градусах

$$\varphi^{\text{теор}} = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{M_{\text{кр}} \cdot L}{G \cdot I_{\rho}} =$$

- погрешность между опытным и теоретическим значениями деформации испытываемого круглого стержня

$$\varepsilon = \left| \frac{\varphi^{\text{опыт}} - \varphi^{\text{теор}}}{\varphi^{\text{опыт}}} \right| \cdot 100\% =$$

Соппротивление материалов
 Техническая механика

испытываемого образца $L=600$ мм:

-деформация (угол закручивания $\varphi^{\text{опыт}}$) испытываемого стержня y' с учетом поправки на значение собственной (внутренней) деформации испытательной машины $y_{\text{соб}}$, в мм

$$y' = y - y_{\text{соб}} =$$

- теоретическое значение деформации (угол закручивания $\varphi^{\text{теор}}$) испытываемого круглого стержня, в градусах

$$\varphi^{\text{теор}} = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{M_{\text{кр}} \cdot L}{G \cdot I_p} =$$

- погрешность между опытным и теоретическим значениями деформации испытываемого круглого стержня

$$\varepsilon = \left| \frac{\varphi^{\text{опыт}} - \varphi^{\text{теор}}}{\varphi^{\text{опыт}}} \right| \cdot 100\% =$$

Таблица 1

Расчетная длина испытываемого стержня L , в мм	Фактические размеры сечения стержня d , в мм	Полярный момент инерции I_p сечения испытываемого стержня, в мм ⁴	Фактическая жесткость испытываемого стержня GI_p , в Нмм ²
200	10	981	$26,4 \cdot 10^6$
300	10	981	$26,4 \cdot 10^6$
400	10	981	$26,4 \cdot 10^6$
500	10	981	$26,4 \cdot 10^6$
600	10	981	$26,4 \cdot 10^6$

Сопротивление материалов
 Техническая механика

Таблица 2

Расчетная длина испытываемого стержня L , в мм	200	300	400	500	600
Величина деформации y , полученная опытным путем (показания индикатора), в мм					
Величина деформации y' (угол закручивания $\varphi^{\text{опыт}}$), полученная опытным путем, с учетом поправки У_{соб} , в мм					
Величина деформации (угол закручивания $\varphi^{\text{теор}}$), вычисленная по формуле, в мм					
Погрешность между опытным и теоретическим значениями деформации испытываемого круглого стержня ($\varphi^{\text{опыт}}$ и $\varphi^{\text{теор}}$), в %					

По полученным значениям строим график 1, показывающий зависимость деформации (угла закручивания φ) круглого стержня от его расчетной длины $\varphi \sim L$.

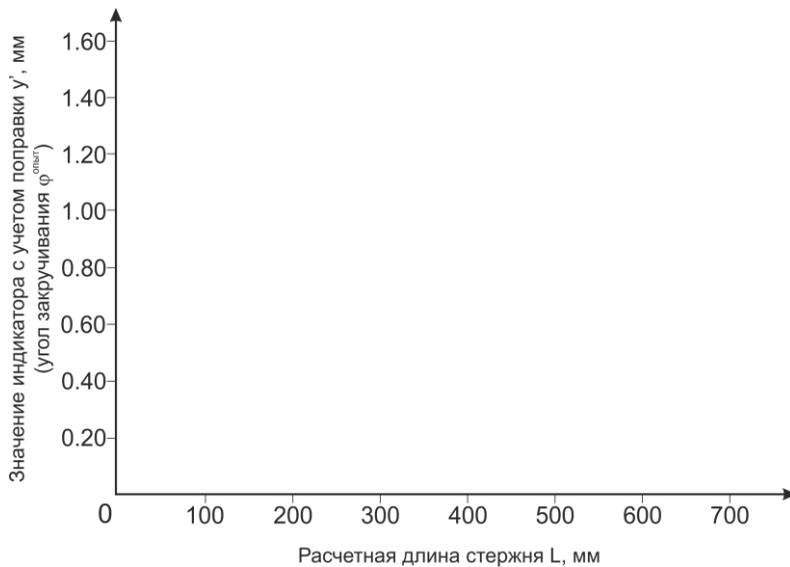
Сопротивление материалов
Техническая механика

График 1. Зависимость деформации круглого стержня постоянного поперечного сечения от его длины

ВЫПОЛНИЛ

Студент группы _____

(Фамилия И.О.)

ПРОВЕРИЛ

Преподаватель _____

(Фамилия И.О.)