

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Ростовский государственный строительный университет»**

Утверждено на заседании кафедры
«Сопротивление материалов»
22 января 2015г.

**ИСПЫТАНИЕ СТЕРЖНЕЙ
КРУГЛОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ НА КРУЧЕНИЕ
(Часть 1)**

**Методические указания
для проведения лабораторной работы
по дисциплинам «Сопротивление материалов»
и «Техническая механика»
для обучающихся по техническим направлениям подготовки
(специальностям)**

Ростов-на-Дону
2015

УДК 539.3/.6

Испытание стержней круглого поперечного сечения на кручение (Часть 1): методические указания для проведения лабораторной работы по дисциплинам «Сопротивление материалов» и «Техническая механика» для обучающихся по техническим направлениям подготовки (специальностям). Ростов-на-Дону: Ростовский государственный строительный университет, 2015. 25с.

Настоящие методические указания ставят своей задачей ознакомление студентов, изучающих общий курс сопротивления материалов, с вопросами экспериментального определения численных значений модуля упругости второго рода для различных материалов, а также исследование зависимости деформации стержня от типа его материала (модуля упругости второго рода).

Электронная версия методических указаний находится в ЭБС РГСУ (lib.rgsu.ru).

УДК 539.3/.6

Составитель: канд. техн. наук, профессор В.Д. Еремин

Редактор: в авторской правке

Темплан 2015г., поз. 352,6

Подписано в печать 12.10.15г. Формат 60х84/16

Бумага писчая. Ризограф. Уч.-изд. л.

Тираж 3 экз. Заказ

Редакционно-издательский отдел

Ростовского государственного строительного университета

344022, Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162.

© Ростовский государственный
строительный университет, 2015

ИСПЫТАНИЕ СТЕРЖНЕЙ КРУГЛОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ НА КРУЧЕНИЕ

1. Цель работы

Ознакомление студентов, изучающих общий курс сопротивления материалов, с вопросами экспериментального определения численных значений модуля упругости второго рода для различных материалов, а также исследование зависимости деформации стержня от типа его материала (модуля упругости второго рода).

2. Описание испытательной установки WP 100

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

Установка может быть использована 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.

Установка используется для решения широкого диапазона задач, связанных с изучением темы «Кручение стержней круглого поперечного сечения» в процессе обучения. Она 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.

Установка представляет собой настольное устройство 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 стержня, деформация установки 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 зажимы (захваты) на испытательной установке 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).

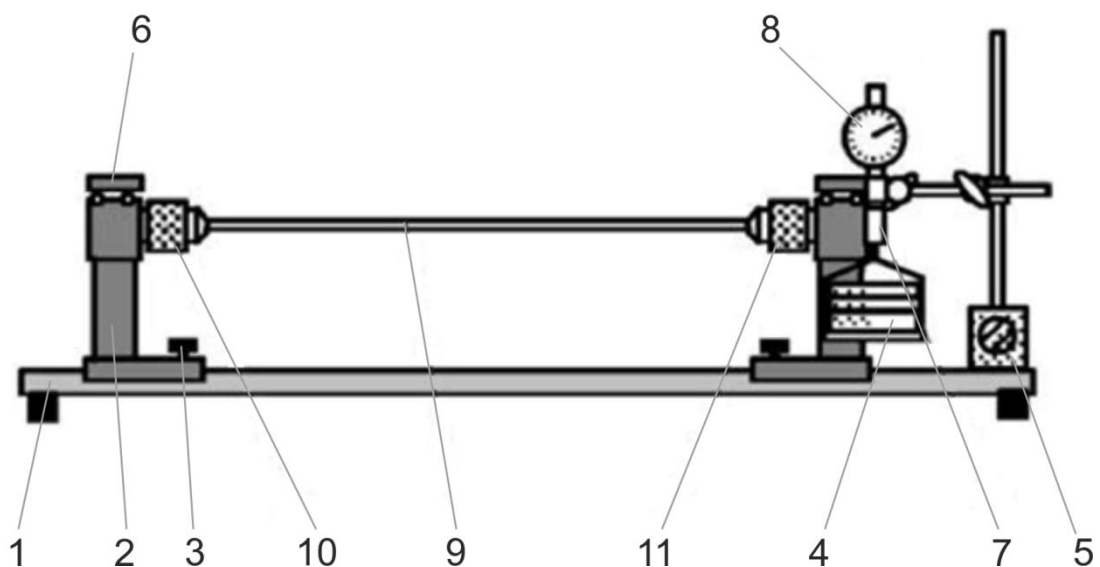


Рис.1. Схема испытательной установки WP 100

На этом рисунке

- | | |
|---|-------------------------------|
| 1-направляющая штанга; | 2-подвижные опоры; |
| 3-крепежные винты для опор; | 4- прикладываемая нагрузка; |
| 5-магнитный держатель для индикатора; | 6-прижимная пластина и винт; |
| 7-рычаг для создания крутящего момента; | 8-стрелочный индикатор; |
| 9-испытываемый стержень; | 10-жестко закрепленный зажим; |
| 11-вращающийся зажим. | |

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

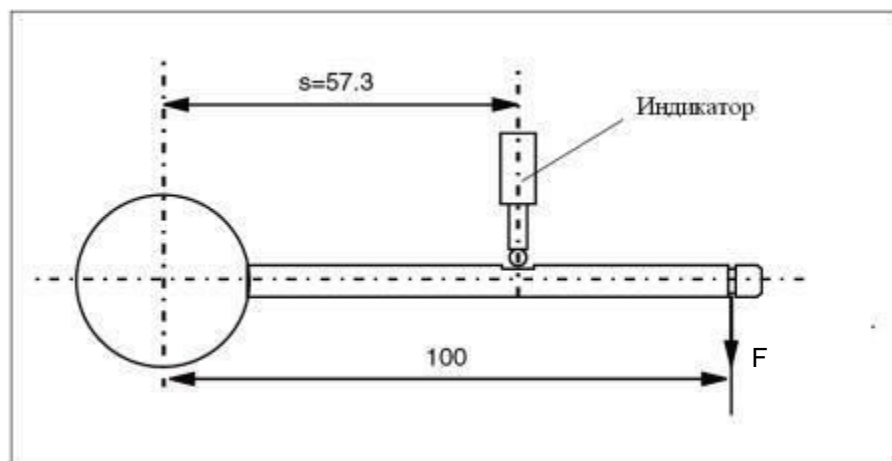
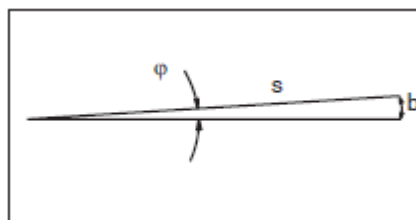


Рис.2. Рычаг для создания крутящего момента

Для небольшого угла φ



формула для определения угла в радианах имеет вид

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

Для этого угла φ дуга b может быть достаточно точно определена по шкале стрелочного индикатора у (рис.3)

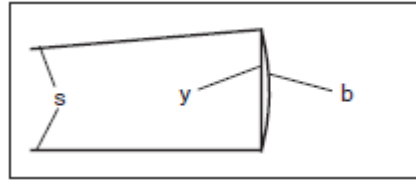


Рис. 3.

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

3. Испытываемые стержни

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

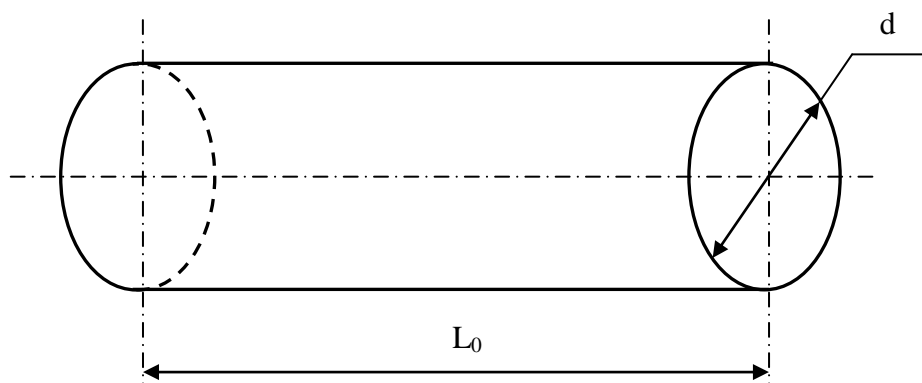


Рис.4. Эскиз испытываемого стержня

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
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 защемленный одним концом (рис.5).

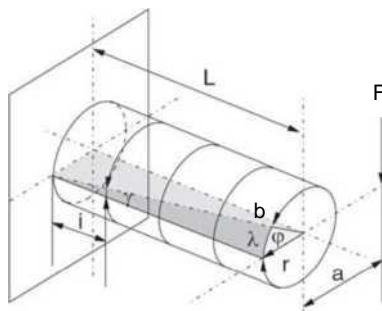


Рис. 5. Испытание стержня на кручение

На этом рисунке

L – расчетная длина испытываемого стержня;

r - радиус поперечного сечения стержня;

b – длина дуги;

φ - угол закручивания стержня;

γ - угол сдвига волокна, лежащего на поверхности стержня.

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

$$M_{кр} = F \cdot a, \quad (4)$$

где

F -усилие в ньютонах;

$a=100\text{мм}$ - длина рычага (рис.2).

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 стержня) закреплен на шаровом вращающемся подшипнике (вращающийся зажим).

Расчетная длина испытываемого стержня 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 стержня . *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 в торец рассматриваемой отсеченной части стержня со стороны внешней нормали, он представляется направленным против часовой стрелки.

При кручении происходит поворот одного поперечного сечения 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

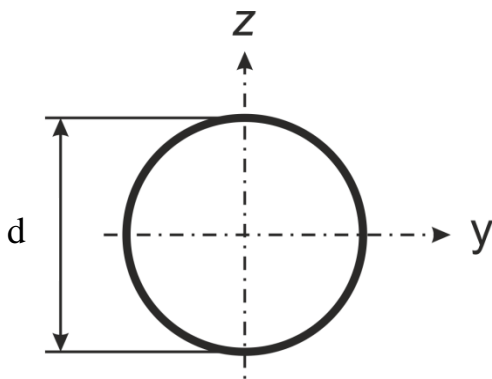
$$\tau_{\max} = \frac{M_{\text{кр}}}{I_{\rho}} \cdot r = \frac{M_{\text{кр}}}{W_{\rho}} \quad (6)$$

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

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

Закон Гука при сдвиге имеет вид

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

Угол закручивания стержня φ в радианах определяется по формуле

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

Переход к градусам делается по общеизвестной формуле

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

следовательно

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

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 (в полярной системе координат);

r - радиус поперечного сечения стержня.

d - диаметр поперечного сечения стержня;

L – расчетная длина испытываемого стержня;

b – длина дуги;

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 установки WP 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).

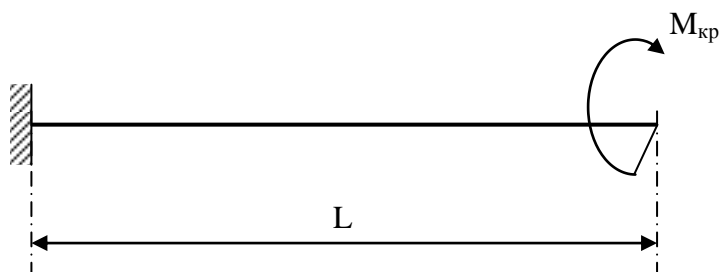


Рис.6. Расчетная схема испытываемого стержня

Исходные данные:

Испытываются на кручение 3 стержня, 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 стержней $L_0=50$ мм. К испытываемым стержням прикладывается внешняя нагрузка величиной $m=1$ кг, т.е. $F=9,81$ Н. Следовательно, в испытываемом стержне возникает крутящий момент (4) $M_{кр}=F \cdot a=9,81 \text{ Н} \cdot 100 \text{ мм} = 981 \text{ Н} \cdot \text{мм}$ (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 (табл.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).

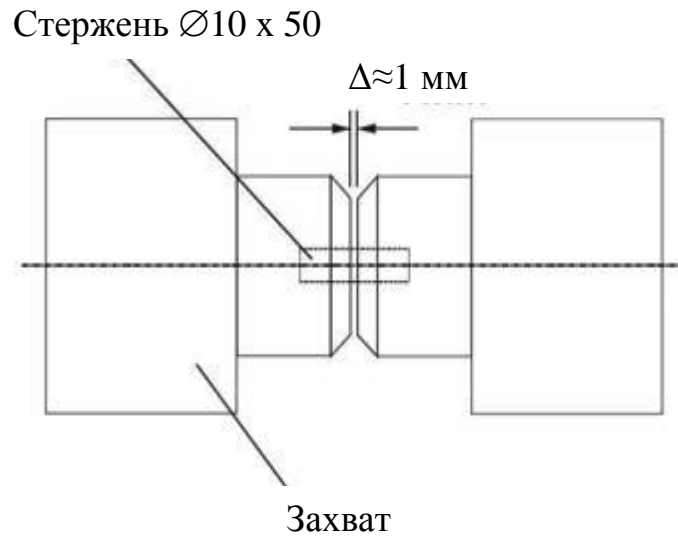


Рис.7. Предварительное испытание стержня на кручение

4. Обнуляем показания стрелочного индикатора.
5. Осторожно нагружаем испытываемый стержень нагрузкой в 1 кг.
6. Снимаем показания стрелочного индикатора y и заносим их в журнал испытаний №1 (табл.1).

7. Вычисляем величину собственной деформации испытательной машины $y_{\text{соб}}$, т.е.

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

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

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

-собственная /внутренняя/ деформация данной испытательной установки, при внешней нагрузке равной $m=1\text{ кг}$, т.е. $M_{\text{кр}} = 981\text{ Н}\cdot\text{мм}$, приблизительно равна $y_{\text{соб}} \approx 0,107\text{ мм}$.

6.2. Определение модуля упругости второго рода для различных материалов. Исследование зависимости деформации стержня от типа его материала (модуля упругости второго рода)

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 формул (2) и (11), получаем выражение для вычисления значения модуля упругости второго рода G для материала, из которого изготовлен испытываемый образец

$$G = \frac{M_{\text{кр}} L}{\varphi I_{\rho}} = \frac{M_{\text{кр}} L}{\frac{y'}{57,3} I_{\rho}}, \quad (15)$$

где

$M_{\text{кр}}$ - крутящий момент;

L - расчетная длина испытываемого стержня;

y' - величина деформации испытываемого стержня с учетом поправки на значение собственной (внутренней) деформации испытательной установки;

I_{ρ} -полярный момент инерции круглого поперечного сечения испытываемого стержня.

Исходные данные:

Испытываются на кручение 3 стержня, изготовленные из стали (St), латуни (Ms) и алюминия (Al). Каждый испытываемый стержень имеет круглое поперечное сечение диаметром $d=10\text{ мм}$. Нормативная длина испытываемых стержней $L_0=340\text{ мм}$.

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

$$I_{\rho} = \frac{\pi d^4}{32}$$

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

Методика проведения эксперимента:

Определение модуля упругости второго рода для каждого из трех стержней, изготовленных из различных материалов, 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 стержней и заносим их в журнал испытаний №2 (табл.1).

3. Расчетные длины стержней $L=300\text{ мм}$ предварительно отмечаем карандашом до проведения эксперимента (рис.8).

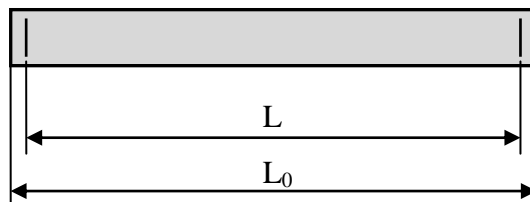


Рис.8. Испытываемый стержень с метками

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

5. Жестко закрепленный и вращающийся зажимы /захваты/ испытательной установки устанавливаем на расстоянии 300 мм. Расчетная длина стержня при этом составляет $L=300\text{ мм}$.

6. Обнуляем показания стрелочного индикатора.

7. Осторожно нагружаем испытываемый стержень нагрузкой в 1 кг.

8. Снимаем показания стрелочного индикатора y и заносим их в журнал испытаний №2 (табл.1).

9. 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.1).

$$y' = y - y_{\text{соб}}$$

10. По формуле (15) вычисляем опытное значение модуля упругости второго рода для испытываемого стержня и заносим это значение в журнал испытаний №2(табл.1).

11. Определяем погрешность между опытным и теоретическим значениями модуля упругости второго рода для испытываемого стержня и заносим эту величину в журнал испытаний №2 (табл.1). Для этого полученное опытным путем значение модуля упругости второго рода для испытываемого стержня сравниваем с соответствующим теоретическим значением, расхождение между ними не должно превышать 5 %, т.е.

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

12. По полученным в эксперименте значениям модуля упругости второго рода $G^{\text{опыт}}$ для различных материалов исследуем зависимость деформации стержня (угла закручивания φ) от типа материала (модуля упругости G). Из формулы (11)

$$\varphi = \frac{M_{\text{кр}} \cdot L}{G \cdot I_{\rho}}$$

видно, что имеется зависимость φ от $1/G$.

Для этого:

- вычисляем обратные значения полученных в эксперименте модулей упругости второго рода для различных материалов и заносим их в журнал испытаний №2 (табл.2);

- по полученным значениям строим график 1, показывающий зависимость деформации стержней φ от типа материала (модуля упругости) $\varphi \sim \frac{1}{G}$, для чего по оси абсцисс откладываем обратное значение модуля упругости $\frac{1}{G}$, а по оси ординат - соответствующие значения деформаций y' испытываемых стержней

(показания индикатора с учетом поправки $y_{\text{соб}}$).

Образец графика 1

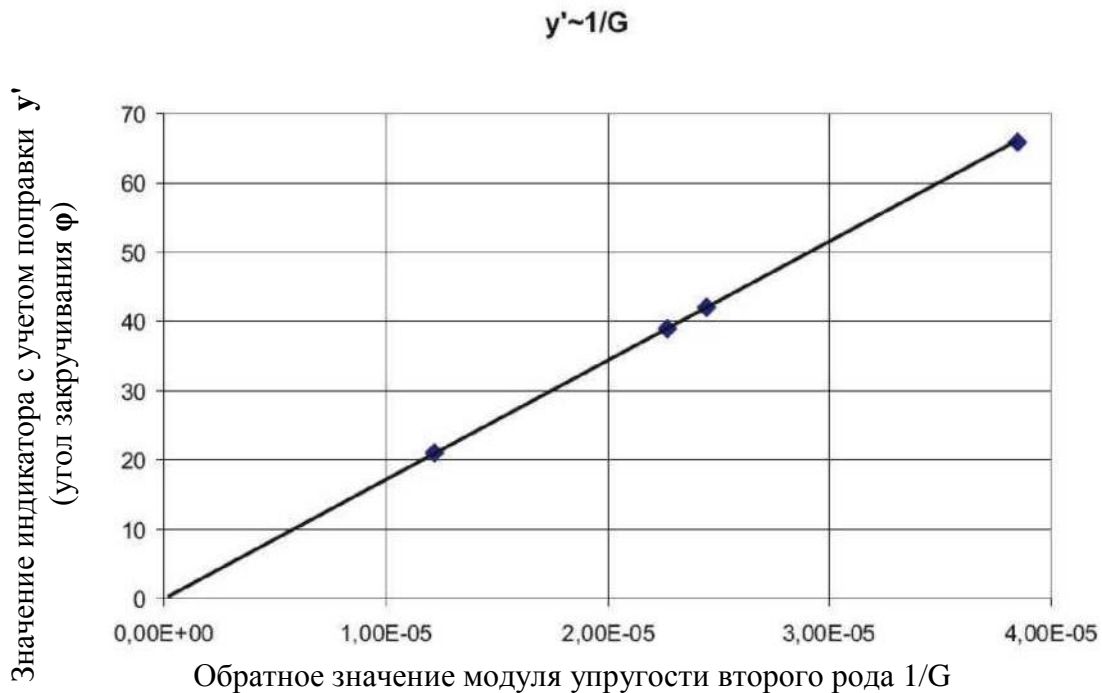


График 1. Зависимость деформации круглого стержня от типа его материала (модуля упругости второго рода)

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. Что называется полярным моментом инерции? Какая его размерность?
13. Что называется полярным моментом сопротивления? Какая его размерность?
14. По какой формуле вычисляется угол закручивания φ ?
15. По какой формуле вычисляется относительный угол закручивания θ ?
16. Какая величина 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 стержень и приводить в действие испытательную установку без разрешения преподавателя.
3. Лабораторную работу нужно выполнять в соответствии с выше приведенной инструкцией.
4. Нагружение испытываемого стержня проводить аккуратно, 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 испытательной установки на расстоянии не менее 0,5 м.
8. Запрещается подходить к лабораторным установкам, не связанным с выполнением данной работы.

/Образец/

ОТЧЕТ

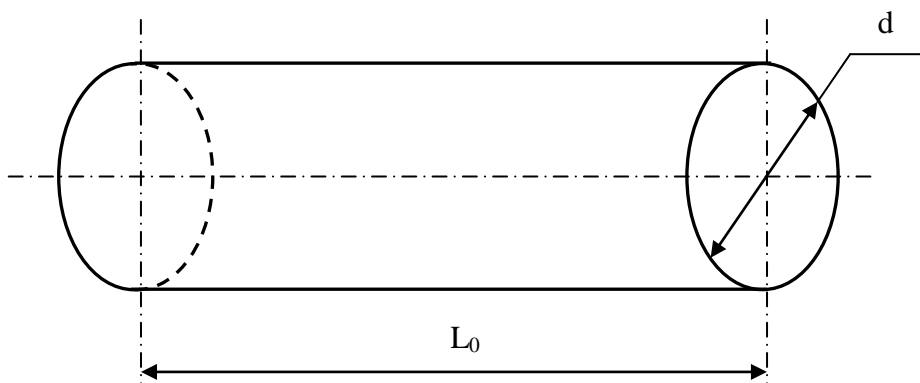
по лабораторной работе №_____

**«Испытание стержней
круглого поперечного сечения на кручение»**

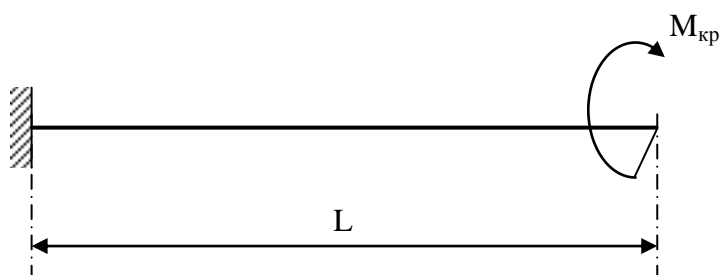
Дата проведения работы _____

1. Наименование машины - испытательная установка WP 100

2. Эскиз испытываемого стержня:



3. Расчетная схема испытываемого стержня

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

1. Характеристика испытываемых стержней:

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

2. Внешняя нагрузка $m=1\text{ кг}$, т.е. $F=9,81\text{ Н}$, 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 установки и заносим полученное значение в табл.1.

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

Таблица 1

Материал образца	Сталь (St)	Латунь (Ms)	Алюминий (Al)
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

«Определение модуля упругости второго рода для различных материалов. Исследование зависимости деформации круглого стержня от типа его материала (модуля упругости второго рода)»

1. Характеристика испытываемых стержней:

- нормативная длина испытываемого стержня $L_0=340\text{ мм}$;
- расчетная длина испытываемого стержня $L=300\text{ мм}$;
- фактические размеры круглого поперечного сечения стержня $d=10,0\text{ мм}$;
- полярный момент инерции поперечного сечения стержня

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

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

3.Обработка данных испытаний:

Вычисляем по соответствующим формулам значения деформации испытываемого стержня y' с учетом поправки на значение собственной (внутренней) деформации испытательной установки $y_{\text{соб}}$, модуля упругости второго рода $G^{\text{опыт}}$, погрешность ε между опытным и теоретическим значениями модуля упругости, обратные значения модулей упругости $1/G^{\text{опыт}}$ и заносим полученные значения в табл.1 и табл.2.

Эксперимент №1 - материал испытываемого стержня сталь (St):

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

$$y' = y - y_{\text{соб}} =$$

-модуль упругости $G^{\text{опыт}}$, рассчитанный из полученного значения y' , в Н/мм²

$$G^{\text{опыт}} = \frac{M_{\text{кр}} L}{\frac{y'}{57,3} I_{\rho}} =$$

- погрешность между опытным и теоретическим значениями модуля упругости второго рода, в %

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

- обратные значения полученных в эксперименте модулей упругости второго рода $1/G^{\text{опыт}}$, в мм²/Н

$$\frac{1}{G^{\text{опыт}}} =$$

Эксперимент №2 -материал испытываемого стержня латунь (Ms):

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

$$y' = y - y_{\text{соб}} =$$

-модуль упругости $G^{\text{опыт}}$, рассчитанный из полученного значения y' ,
в Н/мм²

$$G^{\text{опыт}} = \frac{M_{\text{кр}} L}{\frac{y'}{57,3} I_{\rho}} =$$

- погрешность между опытным и теоретическим значениями модуля
упругости второго рода, в %

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

- обратные значения полученных в эксперименте модулей упругости
второго рода $1/G^{\text{опыт}}$, в мм²/Н

$$\frac{1}{G^{\text{опыт}}} =$$

Эксперимент №3 - материал испытываемого стержня алюминий (Al):

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

$$y' = y - y_{\text{соб}} =$$

-модуль упругости $G^{\text{опыт}}$, рассчитанный из полученного значения y' ,
в Н/мм²

$$G^{\text{опыт}} = \frac{M_{\text{кр}} L}{\frac{y'}{57,3} I_{\rho}} =$$

- погрешность между опытным и теоретическим значениями модуля
упругости второго рода, в %

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

- обратные значения полученных в эксперименте модулей упругости
второго рода $1/G^{\text{опыт}}$, в мм²/Н

$$\frac{1}{G^{\text{опыт}}} =$$

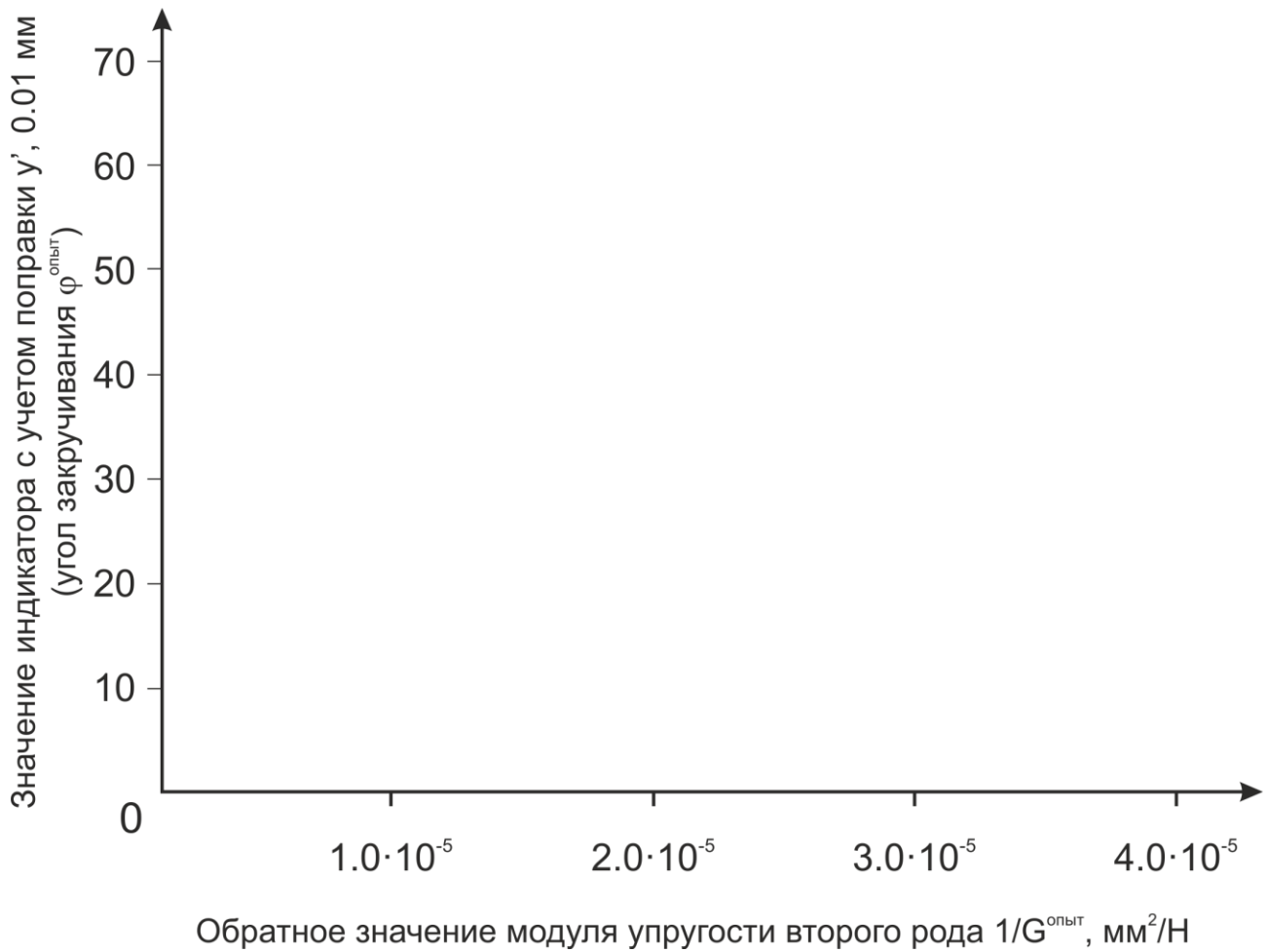
Таблица 1

Материал испытываемого стержня	Фактические размеры сечения стержня d , в мм	Полярный момент инерции I_p сечения испытываемого стержня, в мм ⁴	Показания стрелочного индикатора y , в мм	Показания индикатора с учетом поправки y' (угол закручивания ϕ), в мм	Модуль упругости $G^{\text{опыт}}$, рассчитанный из полученного значения y' , в Н/мм ²	Модуль упругости $G^{\text{теор}}$ для каждого материала, в Н/мм ²	Погрешность между $G^{\text{опыт}}$ и $G^{\text{теор}}$, в %
St	10	981				80850	
Ms	10	981				38500	
Al	10	981				26900	

Таблица 2

Материал испытываемого стержня	St	Ms	Al
Показания индикатора с учетом поправки y' (угол закручивания ϕ), в 0,01мм			
Обратное значение модуля упругости второго рода $1/G^{\text{опыт}}$, в мм ² /Н			

4. По полученным значениям строим график 1, показывающий зависимость деформации ϕ круглых стержней от типа материала (модуля упругости второго рода) $\phi \sim \frac{1}{G}$.



*График 1. Зависимость деформации стержня от типа его материала
(модуля упругости второго рода)*

ВЫПОЛНИЛ

Студент группы _____

(Фамилия И.О.)

ПРОВЕРИЛ

Преподаватель _____

(Фамилия И.О.)