

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра механики материалов, конструкций и машин

Е. В. Пояркова

ИСПЫТАНИЕ СТАЛЬНОГО СТЕРЖНЯ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ НА КРУЧЕНИЕ В ПРЕДЕЛАХ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ СДВИГА

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательной программе высшего образования по специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства

Оренбург
2019

УДК 620.10
ББК 30.121
П 67

Рецензент – профессор, доктор технических наук В. М. Кушнарченко

П 67 **Пояркова, Е. В.**

Испытание стального стержня круглого сечения на кручение в пределах упругих деформаций и определение модуля сдвига: методические указания / Е. В. Пояркова; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2019. – 16 с.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы по дисциплине «Сопротивление материалов» обучающимися по образовательной программе высшего образования по специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства (профиль – Автомобильная техника в транспортных технологиях).

УДК 620.10
ББК 30.121

© Пояркова Е. В., 2019
© ОГУ, 2019

Содержание

Введение	4
1 Лабораторная работа «Испытание стального стержня круглого сечения на кручение в пределах упругих деформаций и определение модуля сдвига»	7
1.1 Теоретические предпосылки изучения поведения материалов при кручении в упругой стадии	7
1.2 Методика испытаний и материально-техническое сопровождение работы	9
1.3 Выполнение эксперимента и обработка результатов испытаний	11
2 Вопросы для самоконтроля	14
3 Список рекомендованных источников.....	16

Введение

При расчетах на прочность, жесткость и устойчивость элементов машин и различной автомобильной техники необходимо знать механические характеристики различных конструкционных материалов; при этом результаты расчетов тесно сочетаются с результатами экспериментальных исследований. По этой причине в учебной дисциплине «Сопротивление материалов» большое внимание уделяется лабораторным работам, которые выполняются параллельно с прохождением теоретического курса.

Настоящие методические указания предназначены как руководство при выполнении лабораторной работы «Испытание стального стержня круглого сечения на кручение в пределах упругих деформаций и определение модуля сдвига» обучающимся по образовательной программе высшего образования по специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства (профиль – Автомобильная техника в транспортных технологиях).

Как правило, лекционный материал, выданный обучающимся во время аудиторных занятий, закладывает основы знаний по предмету в обобщенной форме, поэтому лабораторные занятия направлены на расширение и детализацию этих знаний, на выработку и закрепление навыков профессиональной деятельности. Результатом проведения лабораторной работы является реализация следующих компетенций:

- ОК-1 способностью к абстрактному мышлению, анализу, синтезу;
- ОПК-4 способностью к самообразованию и использованию в практической деятельности новых знаний и умений, в том числе в областях знаний, непосредственно не связанных со сферой профессиональной деятельности.

Подготовка к лабораторному занятию предполагает предварительную самостоятельную работу студентов в соответствии с данной методической разработкой.

Лабораторная работа позволит интегрировать теоретические знания и сформировать некоторые практические умения и навыки студентов в процессе их учебной деятельности. При этом предполагается:

- формирование умений использования теоретических знаний в процессе выполнения лабораторной работы;
- развитие аналитического мышления путем обобщения результатов лабораторной работы;
- формирование навыков оформления результатов лабораторных испытаний в виде таблиц, графиков, иллюстраций, соответствующих выводов.

Лабораторная работа выполняется в соответствии с методическими указаниями и оформляется по требованиям СТО 02069024.101–2015 РАБОТЫ СТУДЕНЧЕСКИЕ. Общие требования и правила оформления. Данный локальный нормативный документ доступен для ознакомления и скачивания на сайте Оренбургского государственного университета по ссылке http://www.osu.ru/docs/official/standart/standart_101-2015.pdf.

Обучающиеся должны усвоить, что отчетность по лабораторным работам ведется в строгом соответствии с определенными требованиями, под контролем ведущего преподавателя. Таким образом, у обучающихся формируются первоначальные умения ведения научной документации и представления отчетной информации.

Выполнение лабораторной работы предусматривает следующие этапы:

- 1) теоретическую подготовку;
- 2) допуск к выполнению работы;
- 3) проведение эксперимента, наблюдение и измерение;
- 4) обработку результатов измерений;
- 5) отчет о выполнении лабораторной работы;
- 6) защиту выполненной работы.

В процессе защиты лабораторной работы выявляется информационная компетентность в соответствии с заданием; затем преподавателем дается комплексная оценка деятельности студента.

Также следует помнить, что приступать к выполнению лабораторной работы запрещается до получения инструктажа от преподавателя и росписи в журнале по технике безопасности.

Лица, не прошедшие инструктаж по соблюдению правил техники безопасности, к работе в лаборатории не допускаются.

Во время выполнения эксперимента и при постановке всех физических опытов обучающиеся неуклонно должны соблюдать основные правила безопасности при работе в лаборатории:

– перед выполнением лабораторной работы проверить отсутствие видимых дефектов и неисправностей лабораторной установки;

– перед проведением экспериментальной части работы дополнительно проверить правильность сборки, установки и закрепления необходимых лабораторных приспособлений и устройств;

– категорически запрещается самостоятельно (без соответствующего разрешения и/или в отсутствие преподавателя или заведующего лабораторией) нагружать испытательную установку;

– в случае серии испытаний перед каждым нагружением испытательной установки убедиться, что ее напряженно-деформированное состояние никому не угрожает опасностью.

1 Лабораторная работа «Испытание стального стержня круглого сечения на кручение в пределах упругих деформаций и определение модуля сдвига»

Цель работы – проверить справедливость закона Гука при кручении; определить модуль сдвига G (модуль упругости второго рода) для стали при сдвиге.

1.1 Теоретические предпосылки изучения поведения материалов при кручении в упругой стадии

Кручение возникает в том случае, когда на элемент конструкции действуют пары сил, расположенные в плоскостях, перпендикулярных его оси.

Наиболее простой и разработанной является теория кручения брусьев круглого поперечного сечения.

Однако испытание на кручение (или на скручивание) имеет второстепенное значение. Оно введено для оценки материалов валов или проволоки, а также для определения прочности и пластичности твердых сталей, выполненные из которых конструктивные элементы работают под действием скручивающих моментов.

Как известно, угол закручивания стержня φ в пределах упругих деформаций связан с крутящим моментом линейной зависимостью (закон Гука):

$$\varphi = \frac{M_k \cdot l}{G \cdot J_p},$$

где M_k – крутящий момент;

l – расстояние между сечениями, относительный (взаимный) угол поворота которых определяется;

J_p – полярный момент инерции поперечного сечения;

G – модуль сдвига.

Величина $G \cdot J_p$ называется жесткостью при кручении.

Модуль сдвига G характеризует способность материала сопротивляться деформации сдвига и является характеристикой упругих свойств материала так же, как модуль Юнга (модуль продольной упругости первого рода) E и коэффициент Пуассона (коэффициент поперечной деформации) μ .

Между величинами G , E и μ существует следующая зависимость:

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

Как и в случае линейного напряженного состояния, закон Гука при сдвиге является приближенным законом, имеющим достаточную для практики степень точности.

Для проверки справедливости закона Гука нужно давать приращение нагрузки равными ступенями и наблюдать, соответствуют ли равным приращениям момента равные приращения угла закручивания.

В данной лабораторной работе, измерив опытным путем величину момента M_k и угол закручивания φ , можно вычислить модуль сдвига G . Чтобы установить зависимость угла закручивания от крутящего момента, нагружение исследуемого образца необходимо производить несколькими ступенями, причем крутящий момент при каждой ступени нагружения увеличивать на одну и ту же величину ΔM_k . После каждого нагружения следует измерить угол закручивания образца.

Приращение угла закручивания $\Delta\varphi$ на одну и ту же величину подтверждает наличие прямой пропорциональности между углами закручивания и крутящим моментом, то есть справедливость закона Гука.

Для выявления этой закономерности следует производить от 4 до 8 нагружений образца.

Величина ступени нагружения M_k зависит от материала образца и его диаметра; ее следует выбирать таким образом, чтобы наибольший крутящий момент при испытании не вызывал остаточных деформаций образца.

1.2 Методика испытаний и материально-техническое сопровождение работы

Демонстрационная установка (рисунок 1.1) состоит из неподвижного захвата (1), жестко связанного со станиной, и подвижного захвата (2), укрепленного на валике (3). Свободный конец валика жестко соединен с рычагом (4), который служит для подвешивания грузов (5) и передачи крутящего момента на образец (6).

Для определения угла взаимного поворота сечений применяется углоизмеритель. Он состоит из Г-образного (7) и упорного (8) стержней.

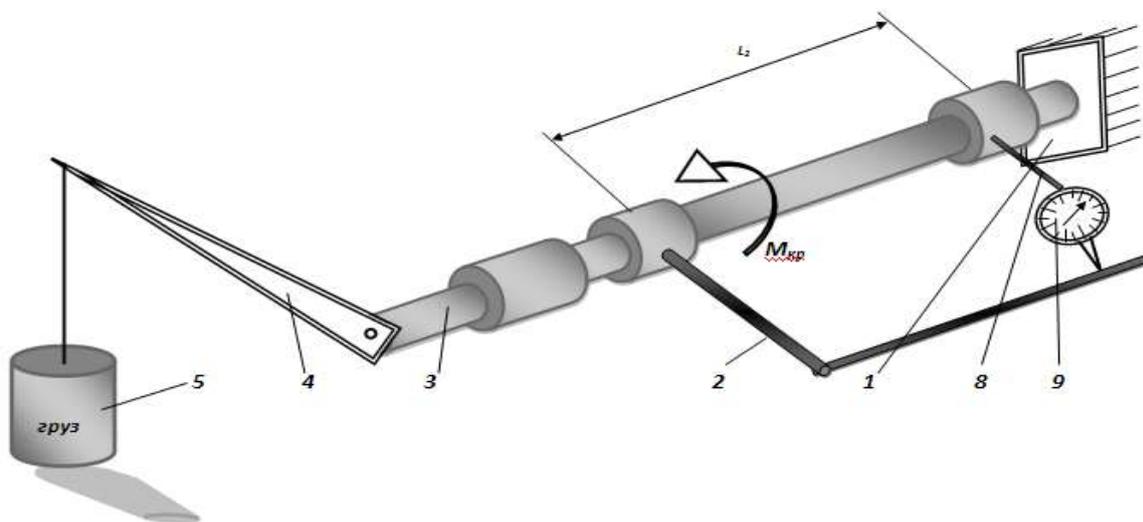


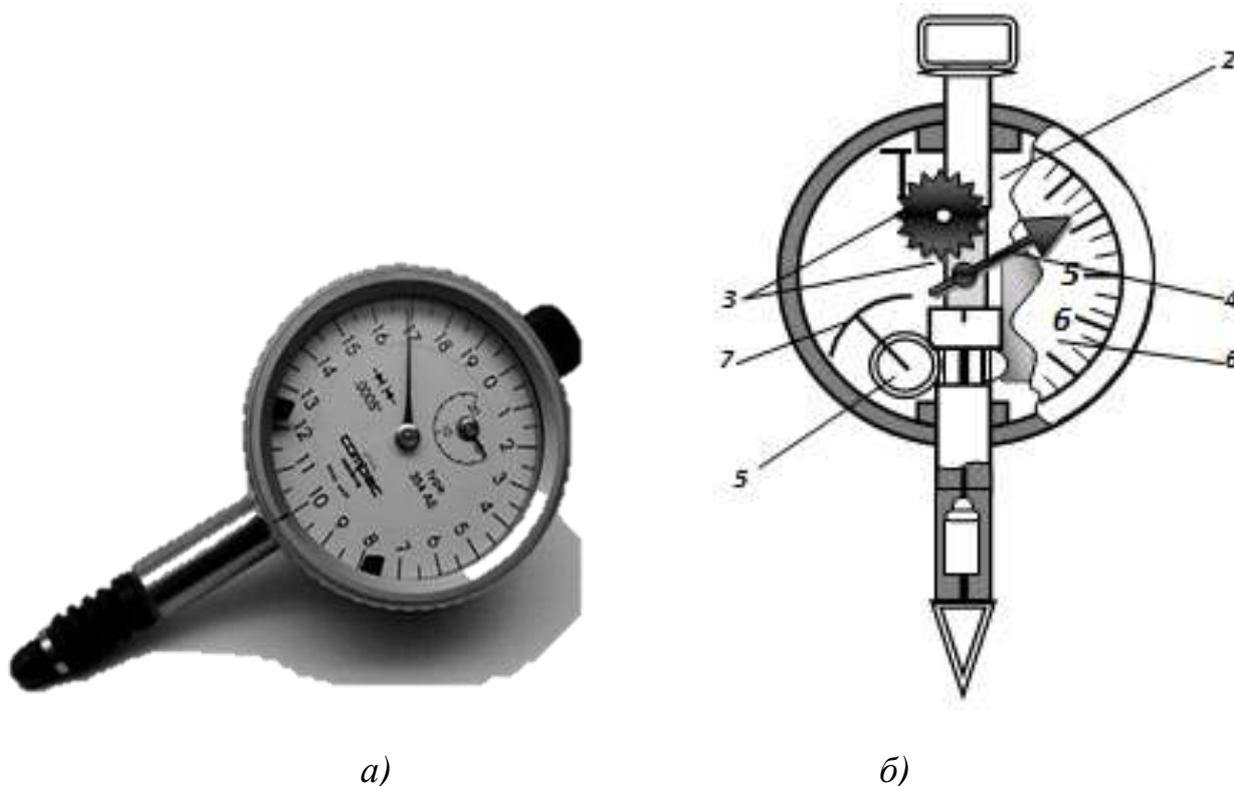
Рисунок 1.1 – Установка для скручивания стального образца в области упругих деформаций

На конце стержня (8) закрепляется индикатор (мессура) (9), который своим штифтом касается плоскости стержня (7) в точке С.

Оба стержня закреплены неподвижно относительно образца при помощи муфт. Поворот сечения А по отношению к сечению В фиксируется индикатором.

При наибольшем значении крутящего момента не должны появляться пластические (остаточные) деформации в образце.

Замеры перемещений исследуемого стержня круглого поперечного сечения при кручении выполняются на основании показаний стрелочного индикатора (рисунок 1.2.).



а) внешний вид; б) устройство.

Рисунок 1.2 – Стрелочный индикатор

Он состоит из штифта (1) с рейкой (2). Рейка связана посредством системы шестеренок (3) (с заданным передаточным числом) со стрелкой (4). Одному обороту стрелки (4) соответствует перемещение штифта индикатора на 1 мм (шкала 7), а стрелки (5) – на одно деление, равное 0,01 мм (шкала 6).

Отсчеты берутся сначала по шкале 7 (целые миллиметры), а затем десятые и сотые доли миллиметра по большой шкале 6.

Для измерений перемещений штифт индикатора следует расположить до упора в деформируемый элемент, а корпус прибора закрепить неподвижно на штативе или подставке.

Перемещение стрелки индикатора пропорционально углу закручивания участка между рассматриваемыми сечениями. В виду малости угла закручивания следует определить его значение через тангенс, как отношение перемещения штока индикатора s , выраженного в миллиметрах, к расстоянию до оси образца R . Для определения угла закручивания необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$\varphi \approx \operatorname{tg} \varphi = \frac{s}{R} = \frac{C_n \cdot n}{R},$$

где C_n – цена деления индикатора;

n – число делений.

1.3 Выполнение эксперимента и обработка результатов испытаний

В лабораторный журнал необходимо внести сведения о длине L_0 , диаметре d_0 образца и полярном моменте инерции его поперечного сечения J_p , который вычисляется по формуле:

$$J_p = \frac{\pi \cdot d_0^4}{32}.$$

Следует измерить и зафиксировать также расстояние R от оси образца до оси штифта индикатора.

Для устранения люфтов и обжатия установки образец следует нагрузить предварительным крутящим моментом M_k . Дальнейшее нагружение необходимо производить ступенями ΔM_k , равными крутящему моменту M_k .

Исходный и последующие отсчеты n по индикатору записываются в таблицу наблюдений лабораторного отчета.

Необходимо следить за тем, чтобы при наибольшем значении крутящего момента не появлялись пластические (остаточные) деформации в образце.

В лабораторный журнал заносятся:

- рабочая длина образца $L_o = 20 \text{ см}$;
- диаметр образца $d_o = 1,5 \text{ см}$;
- модуль продольной упругости $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$;
- расстояние от оси образца до точки касания индикатора $R = 45 \text{ мм}$;
- полярный момент инерции сечения $J_p = \text{см}^4$.

После снятия показаний на установке для скручивания стального образца в области упругих деформаций модуль упругости G при сдвиге подсчитывается по формуле:

$$G = \frac{\Delta M_k \cdot L_o}{\Delta \varphi_{cp} \cdot J_p},$$

где $\Delta \varphi_{cp}$ – среднее значение угла закручивания на ступень нагружения.

Результаты испытаний необходимо занести в таблицу 1.2.

По результатам испытаний необходимо построить диаграмму кручения стального образца в пределах упругих деформаций в координатных осях, представленных на рисунке 1.3. Для этого по вертикальной оси отложить в масштабе приращения крутящего момента, а по горизонтальной оси – соответствующие приращения углов закручивания. Полученные точки должны располагаться вблизи наклонной прямой линии. Масштаб по осям графика

выбирается произвольно, однако рекомендуется выбрать размер графика не менее 60 мм по каждой из осей координат.

Таблица 1.2 – Результаты испытаний на кручение в области упругих деформаций

№ п\п	Крутящий момент $M_k, Н\cdot м$	Отсчеты по индикатору n	Разность отсчетов $\Delta n, мм$	Угол закручивания на ступень нагружения $\Delta\varphi = \Delta n/R$	Угол закручивания $\varphi (рад)$
1					
2					
3					
4					
5					

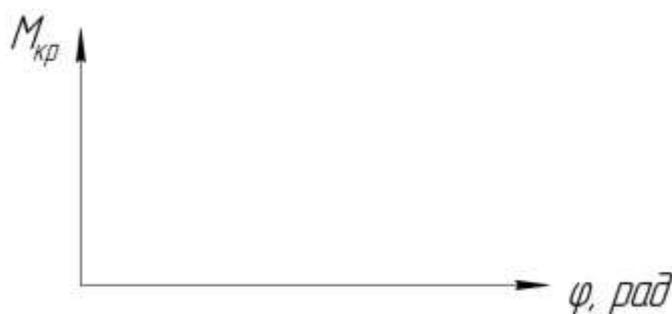


Рисунок 1.3 – К отчету по выполнению лабораторной работы

Анализируя полученную зависимость, требуется сделать вывод и зафиксировать его в отчете о выполнении лабораторных работ.

Если абсолютное отклонение теоретического и экспериментального значений угла закручивания не превышает цены деления угломера $\frac{C_n}{R}$, то можно заключить, что отклонений от закона Гука в эксперименте не обнаружено, в противном случае в выводе необходимо привести наибольшее значение относительной погрешности.

2 Вопросы для самоконтроля

1. Какова цель лабораторной работы?
2. При каком нагружении прямой брус испытывает деформацию кручения? Какие конструкционные материалы лучше сопротивляются скручиванию? Приведите примеры.
3. Какое правило знаков принято для крутящих моментов?
4. Что называется углом закручивания?
5. Какое свойство материала характеризует модуль сдвига?
6. Сформулируйте закон Гука при кручении.
7. Какая зависимость существует между углом закручивания и крутящим моментом?
8. Как определяется угол закручивания образца экспериментально? Какие измерительные приборы и приспособления при этом применяются?
9. Что называется жесткостью поперечного сечения бруса при кручении? Какова размерность жесткости поперечного сечения?
10. Какие факторы влияют на величину угла закручивания?
11. Во сколько раз изменится величина угла закручивания, если диаметр образца уменьшить вдвое?
12. Во сколько раз необходимо изменить максимально допустимый крутящий момент при испытании образца стандартного диаметра 10 мм, по сравнению с настоящим экспериментом?
13. Влияет ли на величину угла закручивания расстояние между сечениями, относительный (взаимный) угол поворота которых определяется?
14. Как можно повысить точность измерения угла закручивания?
15. Какими приборами измеряют угол закручивания образца?
16. Для чего до начала отсчетов дается предварительное нагружение образца?

17. Почему при испытании образцов крутящий момент наращивают равными ступенями? Какую закономерность можно установить, нагружая образец равными ступенями?

18. Как выбирают степень нагружения образца при кручении?

19. С какой целью перед началом испытаний производят предварительное нагружение образца?

20. Какие существуют зависимости между тремя упругими постоянными материала: E , μ , G ?

3 Список рекомендованных источников

1. Пояркова, Е.В. Механика материалов (методы механических испытаний материалов) [Электронный ресурс] : учебное пособие / Е.В. Пояркова, В.И. Грызунов, И.Р. Кузеев. – Москва : Флинта. – 2015. – ISBN 978-5-9765-2481-1. – 228 с – Загл. с тит. экрана. <https://e.lanbook.com/book/72683#authors>

2. Калеева, Ж.Г. Обработка результатов механических испытаний материалов методом линейного регрессионного анализа [Электронный ресурс] : методические указания / Ж.Г. Калеева, Е.В. Пояркова, С.Н. Горелов. – 2-е изд. – Москва : Флинта. – 2015. – ISBN 978-5-9765-2482-8. – 46 с – Загл. с тит. экрана. https://e.lanbook.com/book/72680#book_name

3. Лабораторный практикум по сопротивлению материалов : учебное пособие для студентов технических специальностей / Р.В. Ромашов [и др.]; под ред. Р.В. Ромашова. – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2009. – 123 с. : ил. – ISBN 978-5-7410-0949-9.

4. Быков, С.Ю. Испытания материалов : учеб. пособие для вузов / С.Ю. Быков, С.А. Схиртладзе . – М. : ТНТ, 2009. – 136 с. – Библиогр.: с. 135. – ISBN 978-5-94178-213-0.

5. Золоторевский, В.С. Механические испытания и свойства металлов: учеб. пособие для вузов / В.С. Золоторевский; под ред. И.И. Новикова. – М. : Металлургия, 1974. – 304 с. : ил. – Библиогр.: с. 303.

6. Пояркова, Е.В. Сопротивление материалов для транспортных направлений подготовки [Электронный ресурс] : электронный курс в системе Moodle / Е.В. Пояркова; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т". – Оренбург : ОГУ. – 2019. – 11 с. – Режим доступа: https://ufer.osu.ru/index.php?option=com_uferdbsearch&view=uferdbsearch&action=details&ufer_id=1749 – Загл. с тит. экрана.