

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»



Н. Э. Гаврилова

ИСПЫТАНИЕ НА КРУЧЕНИЕ СТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ

Методические указания к выполнению лабораторной работы
для студентов строительных и машиностроительных специальностей

Новополоцк
ПГУ
2015

УДК 539.3/.4(075.8)

Одобрено и рекомендовано к изданию методической комиссией факультета машиностроения и автомобильного транспорта в качестве методических указаний (протокол № 3 от 23.06.2015)

Кафедра прикладной механики и графики

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

канд. техн. наук, доц., зав. каф. прикладной механики и графики

В. Э. ЗАВИСТОВСКИЙ;

доц. каф. прикладной механики и графики

А. Г. ЩЕРБО

Для студентов специальностей: 1-70 02 01, 1-70 02 02, 1-70 03 01, 1-70 04 02, 1-70 04 03, 1-70 05 01, 1-36 01 01.

© Гаврилова Н. Э., 2015

© УО «ПГУ», 2015

ВВЕДЕНИЕ

Понять и усвоить содержание дисциплины «Сопротивление материалов» можно лишь при объединении теоретической и практической подготовки студентов.

Важной составляющей практической работы является лабораторная работа студентов, которая проводится с целью систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений по дисциплине.

В данном издании содержатся методические указания по выполнению лабораторной работы студентов по дисциплине «Сопротивление материалов» по теме «Кручение».

Методические указания содержат краткий информационный материал, составленный на основании рабочей программы дисциплины, изучая которую студент получает возможность определить объем материала, необходимого для усвоения. На вопросы к информационному материалу, служащие для осуществления самоконтроля, следует отвечать по порядку, не пропуская ни одного. Прочитав вопрос, надо дать на него полный исчерпывающий ответ, не пользуясь при этом ни конспектом, ни учебником. Если же студент почувствует затруднение при формулировке ответа, необходимо обратиться к учебнику.

Задания выполняются в тетради для лабораторной работы. Работа с данными рекомендациями не предполагает усвоение новых знаний, но позволяет студенту углублять ранее полученные знания на лекциях и практических занятиях.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ИСПЫТАНИЕ НА КРУЧЕНИЕ СТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ

Цель работы:

1. Изучить методику проведения испытаний на кручение.
2. Построить диаграмму кручения образца.
3. Определить характеристики прочности материалов при кручении.
4. Проанализировать характер разрушения.
5. Определить значение модуля упругости второго рода (модуля сдвига) G для стали.

Оборудование:

1. образец;
2. штангенциркуль;
3. машина для испытания образцов на кручение МК-50-1 (рис. 1).

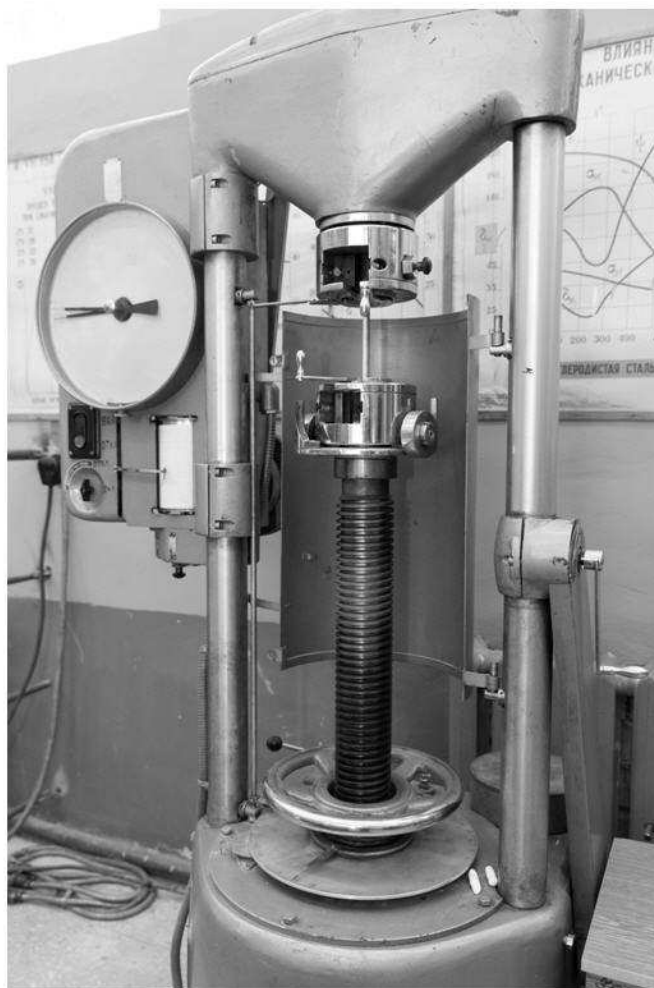


Рис. 1. Машина для испытания образцов на кручение МК-50-1

Краткие теоретические сведения

Кручением называют деформацию, возникающую при действии на стержень пары сил, расположенной в плоскости, перпендикулярной к его оси. При этом в поперечных сечениях тела возникает только один внутренний силовой фактор – *крутящий момент*.

В инженерной практике на кручение работают валы машин, витые пружины и др. Вращающийся стержень, работающий на кручение, называют валом. Стержень, используемый как упругий элемент, который работает на скручивание, называется торсионом.

Действие крутящего момента вызывает в поперечном сечении образца *касательные напряжения* τ . В силу закона парности касательных напряжений в продольных сечениях, проходящих через ось вала, возникают такие же по величине касательные напряжения.

При этом в элементе материала, мысленно выделенном из наружных слоев бруса сечениями, параллельными и перпендикулярными к образующим, по граням будут действовать только касательные напряжения, т.е. элемент будет находиться в условиях деформации *чистого сдвига*. В любом наклонном сечении выделенного элемента будут действовать нормальные касательные напряжения. Наибольшие нормальные напряжения действуют на главных площадках, которые, как известно, наклонены под углом 45° к образующей. Из теории чистого сдвига известно, что главные напряжения по абсолютной величине равны между собой и равны касательным напряжениям, т.е.

$$\sigma_1 = |\sigma_3| = |\tau|, \quad (1)$$

Таким образом, при кручении круглых брусьев опасными могут быть как касательные напряжения, возникающие в поперечных и продольных сечениях вала, так и нормальные напряжения, возникающие на площадках под углом 45° к первым. В связи с этим характер разрушения вала будет зависеть от способности материала сопротивляться действию касательных и нормальных напряжений.

Так, например, стальной образец разрушается от сдвига по поперечному сечению (рис. 2, *а*), чугунный – от отрыва по винтовой поверхности с углом наклона 45° к оси образца (рис. 2, *б*), у деревянного образца разрушение вызывается сдвигом в продольном осевом сечении (рис. 2, *в*).

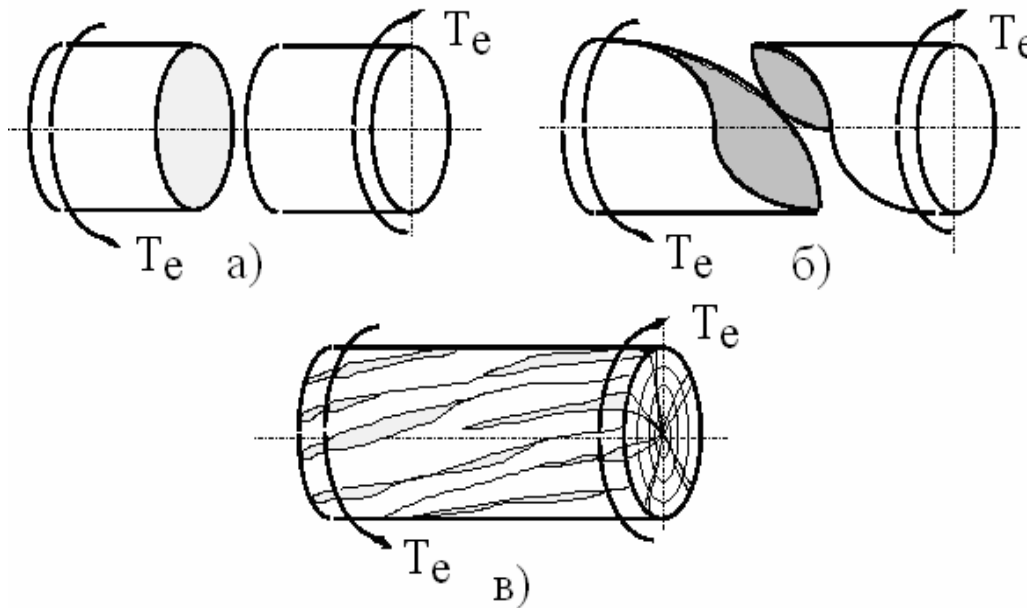


Рис. 2. Характер деформации и разрушения материалов при кручении:
 а) чистый срез; б) чугунный срез; в) деревянный срез

При кручении, как и при растяжении или сжатии, в начальной стадии деформации образца для большинства металлов имеет место линейная зависимость между углом закручивания ϕ и крутящим моментом T_u – закон Гука (рис. 3).

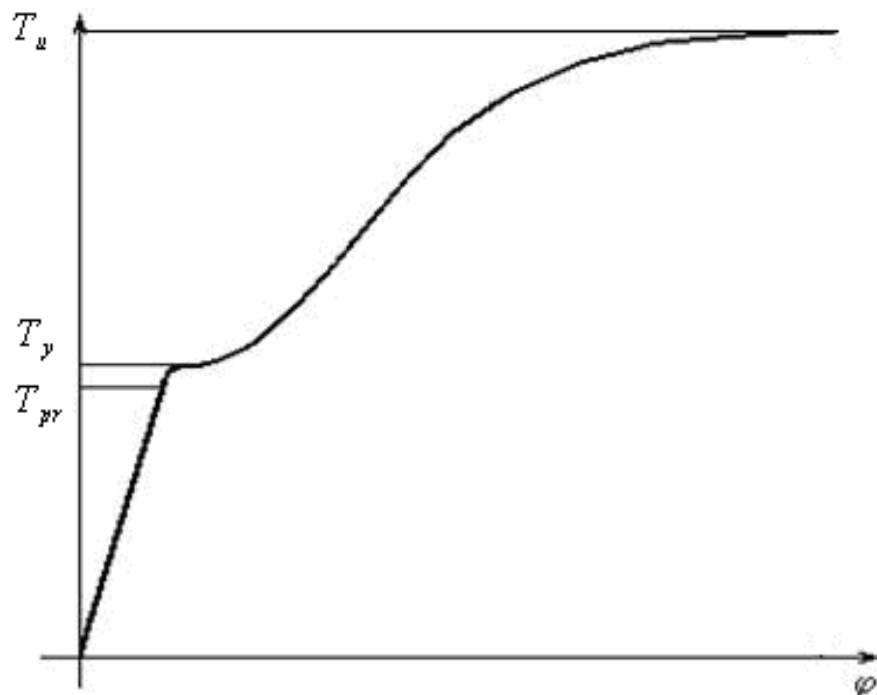


Рис. 3. Диаграмма кручения стального образца

По диаграмме кручения, аналогично диаграмме растяжения, можно видеть все характерные участки (кроме участка разрушения, т.к. при кручении “шейка” на образце не образуется) и точки, соответствующие моментам пропорциональности T_{pr} , текучести T_y и максимальному моменту T_u . По величинам этих моментов можно определить механические характеристики прочности материала – пределы пропорциональности, текучести и прочности:

$$\tau_{pr} = \frac{T_{pr}}{W_p}; \quad \tau_y = \frac{T_y}{W_p}; \quad \tau_u = \frac{T_u}{W_p}. \quad (2)$$

где $W_p = \pi d^3 / 16$ – полярный момент сопротивления сечения образца.

При кручении круглых образцов материал у поверхности образца напряжен сильнее, чем материал, расположенный ближе к оси стержня.

Таким образом, напряженное состояние является неоднородным. Поэтому при испытании образцов из малоуглеродистой стали невозможно определить предел текучести. Предел прочности также определяется как условный. Закон изменения касательных напряжений в поперечном сечении образца в зависимости от величины нагружения схематично изображен на рисунке 4.

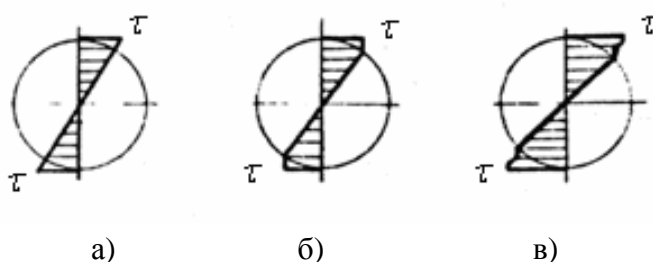


Рис. 4. Эпюры касательных напряжений в поперечном сечении при кручении

На рисунке 4, а изображена эпюра распределения касательных напряжений в поперечном сечении образца, когда максимальные касательные напряжения на поверхности образца не превышают предела пропорциональности, т.е. образец работает в пределах применимости закона Гука.

С увеличением крутящего момента напряжения на поверхности образца достигают предела текучести. Может образоваться некоторый слой, где напряжения во всех точках будут равны пределу текучести (рис. 4, б).

При еще большем нагружении напряжение на поверхности образца превысит предел текучести и уже может образоваться внутренний слой, где напряжения во всех точках будут равны пределу текучести (рис. 4, в).

Для вала круглого поперечного сечения угол закручивания ϕ определяется по формуле

$$\phi = \frac{T_u l}{GI_p}, \quad (3)$$

где l – расчетная длина образца [мм];

G – модуль сдвига [МПа];

$I_p = \pi d^4 / 32$ – полярный момент инерции поперечного сечения образца [мм⁴].

При кручении длина l и диаметр d образца в пределах упругих деформаций остаются неизменными. Величина модуля сдвига может быть определена из закона Гука, если в пределах пропорциональности для заданного приращения крутящего момента M_u на образце будут измерены приращения угла закручивания:

$$G = \frac{\Delta T_u l}{\phi I_p}. \quad (4)$$

Справедливость закона Гука при кручении может быть подтверждена и графическим путем, построением начального участка диаграммы в координатах $\phi - T_u$ (см. рис. 3).

**Правила по технике безопасности для студентов
при проведении лабораторных работ
по испытанию материалов**

1. Лабораторные работы проводятся под наблюдением преподавателя или лаборанта.

2. Все механические испытания материалов проводятся учебно-вспомогательным персоналом на испытательных машинах.

3. Все измерения образцов, необходимые для выполнения лабораторных испытаний, проводятся до установки их в захваты испытательных машин. Измерения образцов после испытания можно производить только после снятия последних с машины. Для визуального осмотра результатов испытаний подходить к машине можно только с разрешения преподавателя.

Постановка и порядок проведения работы

1. Вычертить эскиз образца до испытания (рис. 5).

2. Измерить основные размеры образца:

– диаметр образца $d =$ мм;

– рабочая длина образца $l =$ мм.

Для испытаний на кручение применяются цилиндрические образцы, изготовляемые в соответствии с требованиями ГОСТ 3565-58.

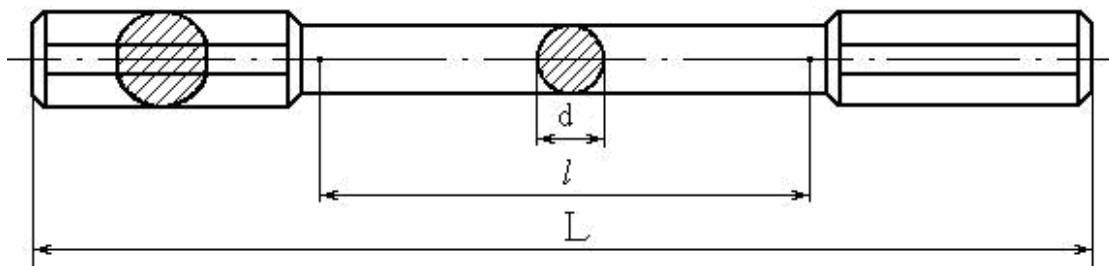


Рис. 5. Образец для испытания на кручение

3. Вычислить полярный момент сопротивления образца круглого сечения:

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

4. На образце по образующей нанести мелом линию, параллельную оси образца.

5. Закрепить образец в захватах испытательной машины (рис. 6).



Рис. 6. Положение образца в захватах

6. При испытании производится запись диаграммы «крутящий момент – угол закручивания» (рис. 7)

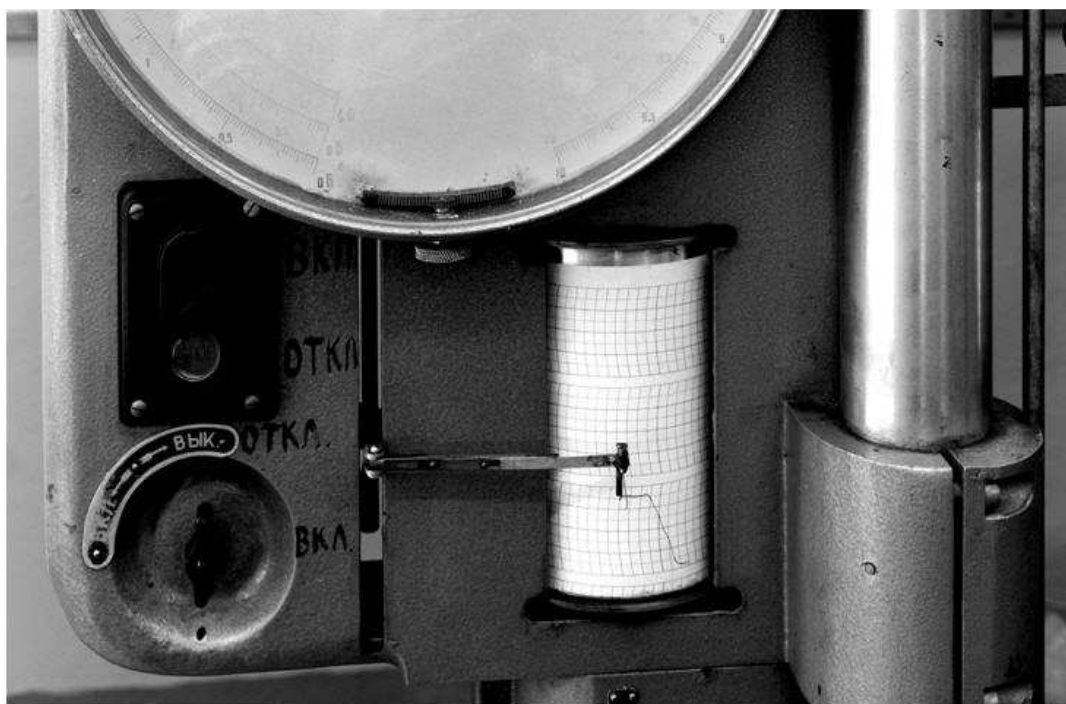


Рис. 7. Самописец и диаграммный механизм машины МК-50-1

Для этого необходимо установить минимальную частоту вращения активного захвата и требуемый масштаб записи угла закручивания и записать диаграмму до тех пор, пока перо самописца не начнет вычерчивать линию, параллельную оси ϕ . Затем вращение барабана диаграммного аппарата можно отключить (в целях экономии бумаги) и частоту вращения активного захвата увеличить.

7. По шкале моментометра снять величину крутящего момента, соответствующего разрушению образца и записать величину угла закручивания при разрушении образца.

$$T_u = \quad \text{кНм} = \quad \text{Нмм}$$

$$\phi = \quad (\text{в } ^\circ)$$

8. Вынуть образец из губок захватов испытательной машины.

9. Вычислить по формуле (2) величину условного предела прочности при кручении

$$\tau_u = \frac{T_u}{W_p} = \quad \text{МПа}$$

10. Определить модуль сдвига

$$G = \frac{\Delta T_u l}{\Delta \phi I_p} = \quad \text{МПа}$$

11. Вычертить эскиз образца после разрушения (рис. 8).



Рис. 8. Вид образцов после испытания

Обработка и анализ полученных результатов

Вычерченная пером самописца машинная диаграмма зависимости угла закручивания от крутящего момента не имеет осей координат. При обработке диаграммы эти оси необходимо изобразить. Затем мы можем определить масштаб диаграммы по моменту, разделив величину разрушающего момента на ординату диаграммы, соответствующую моменту разрушения. Для машины МК-50-1 один миллиметр высоты ординаты соответствует 1/250 наибольшего значения момента. Масштаб диаграммы по углу закручивания устанавливается непосредственно на приводе барабана диаграммного аппарата. Для машины МК-50-1 один миллиметр по горизонтальной оси соответствует 0,5; 1 или 5° угла закручивания. Зная масштабы, по диаграмме можно определить величину крутящего момента, соответствующего пределу пропорциональности.

Величина полного угла закручивания ϕ , соответствующая моменту разрушения, фиксируется отсчетным устройством угла закручивания с точностью деления 1°.

Для определения условного предела прочности при кручении предварительно определяем величину полярного момента сопротивления образца по формуле

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

где d – диаметр испытуемого образца на кручение.

Затем по формуле (5) определяем величину условного предела прочности при кручении.

$$\tau_u = \frac{T_u}{W_p}. \quad (5)$$

Определить механические характеристики τ_u и ϕ_0 для стали и описать вид разрушения испытываемого образца.

Выводы

На основании анализа результатов опыта дать заключение о характере разрушения. Оценить значение модуля сдвига для материала образца, полученного опытным путем.

Контрольные вопросы

1. Дать определение понятию кручение.
2. Какие внутренние силовые факторы возникают в поперечных сечениях тела при кручении?
3. Какой вид разрушения можно ожидать при кручении стержня из хрупкого и пластичного материала?
4. Какие напряжения возникают в поперечном сечении при кручении стержней круглого сечения при малых деформациях?
5. Какого вида диаграммы следует ожидать при кручении стального образцов?
6. Какие механические характеристики материала определяют при кручении?
7. Почему предел прочности, определяемый при кручении круглых образцов, называется условным?
8. При кручении каких образцов можно определить предел текучести?

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов, А.Ф. Сопротивление материалов / А.Ф. Смирнов. – М. : Высшая школа, 1975.
2. Дарков, А.В. Сопротивление материалов / А.В. Дарков, Г.С. Шпиро. – М. : Высшая школа, 1975.
3. Беляев, Н.М. Сопротивление материалов / Н.М. Беляев. – М. : Наука, 1976.
4. Щербо, А.Г. Сопротивление материалов : учеб.-метод. комплекс : в 2 ч. / А.Г. Щербо, В.К. Родионов. – Новополюцк : ПГУ, 2006. – Ч. 1.– 272 с.

Учебное издание

ГАВРИЛОВА Наталья Эдуардовна

**ИСПЫТАНИЕ НА КРУЧЕНИЕ
СТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ**

Методические указания к выполнению лабораторной работы
для студентов строительных и машиностроительных специальностей

Редактор *Д. М. Севастьянова*

Подписано в печать 12.05.15. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. печ. л. 0,69. Уч.-изд. л. 0,43. Тираж 40 экз. Заказ 693.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

Ул. Блохина, 29, 211440, г. Новополоцк.