

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА ГРАФИКИ И МЕХАНИКИ

БАСКАЕВ А.Н.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ
по сопротивлению материалов
(направления подготовки: **35.03.06 - «Агроинженерия»;**
23.03.03 - «Эксплуатация транспортно-
технологических машин и комплексов»;
13.03.01 - «Теплоэнергетика и теплотехника»)
уровень высшего образования – бакалавр

Владикавказ, 2018

Составитель: к.т.н., доцент **БАСКАЕВ А.Н.**

Рецензент: к.т.н., доцент **ГАППОЕВ А.И.**

Баскаев А.Н. Методические указания к выполнению лабораторных работ по сопротивлению материалов / Учебное пособие / А.Н. Баскаев /– Владикавказ: Издательство ФГБОУ ВО «Горский госагроуниверситет», 2018, – 64 с.

Методические указания предназначены для изучения дисциплины «Сопротивление материалов» студентами направлений подготовки: 35.03.06 «Агроинженерия», 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

Методические указания рассмотрены, одобрены и рекомендованы к изданию кафедрой «Графика и механика» (протокол № 9 от 05.04.2018 г.), методическим советом факультета механизации сельского хозяйства (протокол № 7 от 18.04.2018 г.) и Центральным методическим советом ГГАУ (протокол № 5 от 29.05.2018 г.).

ВВЕДЕНИЕ

Сопротивление материалов – наука о расчетах элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость. Эта наука изучает процессы деформации тел под действием внешних сил, с целью предотвращения разрушения элементов конструкции, обеспечения противодействия изменению их форм и размеров. Сопротивление материалов является разделом механики деформируемого твердого тела и относится к числу основных технических дисциплин, формирующих из студента бакалавра.

Для усвоения курса сопротивления материалов требуется не только глубокое изучение теории и приобретение твердых навыков в решении задач, но и получение наглядного представления о работе различных материалов при проведении испытаний над ними. Основная цель лабораторных работ – экспериментальное изучение различных видов деформации конструкционных материалов, и в первую очередь, металлов, а также проверка теоретических выводов этой науки. При выполнении лабораторных работ студенты изучают конструкцию испытательных машин и приборов, знакомятся с методами испытания и исследования, учатся анализировать полученные данные, делать необходимые выводы, что очень важно для развития научно-исследовательских навыков будущему бакалавру.

В соответствии с рабочими программами по сопротивлению материалов для студентов факультета механизации сельского хозяйства, а также для автомобильного и энергетического факультетов предусмотрены лабораторные занятия. Данное пособие предназначено для подготовки бакалавров по следующим направлениям: 35.03.06 – Агроинженерия (профили подготовки: «Технические системы в агробизнесе» и «Электрооборудование и электротехнологии в АПК»); 23.03.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов (профиль подготовки: «Автомобили и автомобильное хозяйство»); 13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника (профиль подготовки:

«Энергообеспечение предприятий»). В нем приводятся сведения необходимые для составления отчетов по шести лабораторным работам, охватывающим следующие разделы курса: растяжение-сжатие, сдвиг, кручение, поперечный изгиб.

В результате освоения лабораторных работ по сопротивлению материалов формируются следующие компетенции:

ОК – 7 – способность к самоорганизации и самообразованию;

ОПК – 2 – способность к использованию основных законов естественно-научных дисциплин в профессиональной деятельности;

ОПК – 3 – готовность применять систему фундаментальных знаний (математических, естественно-научных, инженерных и экономических) для идентификации, формулирования и решения технических и технологических проблем эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов;

ОПК – 4 – способность решать инженерные задачи с использованием основных законов механики, электротехники, гидравлики, термодинамики и теплообмена;

ОПК – 5 – способность обоснованно выбирать материал и способы его обработки для получения свойств, обеспечивающих высокую надежность детали;

ПК – 1 – готовность изучать и использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследований;

ПК – 2 – готовность к участию в проведении исследований рабочих и технологических процессов машин;

ПК – 20 – способность к выполнению в составе коллектива исполнителей лабораторных, стендовых, полигонных, приемо-сдаточных и иных видов испытаний систем и средств, находящихся в эксплуатации транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования.

В настоящем пособии использованы материалы из различных литературных источников [1, 2, 3,4].

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Испытание малоуглеродистой стали на растяжение

Цель лабораторной работы:

Определение основных механических характеристик и характеристик пластичности малоуглеродистой стали, путем снятия диаграммы растяжения стандартного образца.

Общие сведения

Для полного представления о механических свойствах материала при его растяжении и сжатии до разрушения необходимо изучение на опыте явлений, которые при этом процессе происходят.

С точки зрения различия в механических качествах, при растяжении и сжатии материалы могут быть хрупкими и пластичными. Хрупкие материалы разрушаются при очень малых остаточных деформациях. Пластичные материалы разрушаются лишь после значительной остаточной деформации.

Испытание на растяжение производится при статическом нагружении, то есть нагрузка к испытываемому образцу прикладывается плавно, без толчков и ударов, с постепенным возрастанием по времени. Испытанию на растяжение подвергаются образцы в виде стержней круглого или прямоугольного сечения. Некоторые результаты испытаний зависят от формы образца, главным образом, от отношения его длины l к площади поперечного сечения A . Поэтому у образцов с прямоугольным сечением расчетная длина выбирается так, чтобы выполнялось соотношение $l = 11,3 \cdot \sqrt{A}$. Для образцов круглого поперечного сечения с диаметром d должно соблюдаться соотношение $l = 10 \cdot d$.

На концах образца поперечные размеры больше чем в средней части для закрепления его в захватах испытательной машины. После закрепления образца в вертикальном положении в захватах машину запускают, и начинается медленное перемещение верхнего захвата вверх, что и вызывает растяжение стержня.

По ходу испытания отмечают ряд последовательных величин нагрузки, измеряют соответствующие им размеры l_i образца и вычисляют его удлинения $\Delta l = l_i - l$. Результаты измерений наглядно

представляются на диаграмме растяжения, которая на испытательных машинах вычерчивается автоматически в заранее заданном масштабе. На диаграмме по вертикальной оси откладываются в определенном масштабе μ_F растягивающие нагрузки F , а по горизонтальной оси (в масштабе $\mu_{\Delta l}$) – абсолютное удлинение Δl .

При испытании образцов из малоуглеродистой стали диаграмма растяжения имеет вид, показанный на рисунке 1. Первая часть диаграммы OA , представляющая собой прямую линию, называется участком прямой пропорциональности. Ордината точки A диаграммы соответствует нагрузке F_A . Поделив нагрузку F_A на первоначальную площадь поперечного сечения A , получим предел пропорциональности $\sigma_{пр}$, то есть то значение напряжения, выше которого нарушается справедливость закона Гука. Для малоуглеродистой стали величина предела пропорциональности равна:

$$\sigma_{пр} = \sigma_{pr} = \frac{F_A}{A} = 2000 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} = 200 \text{ МПа}.$$

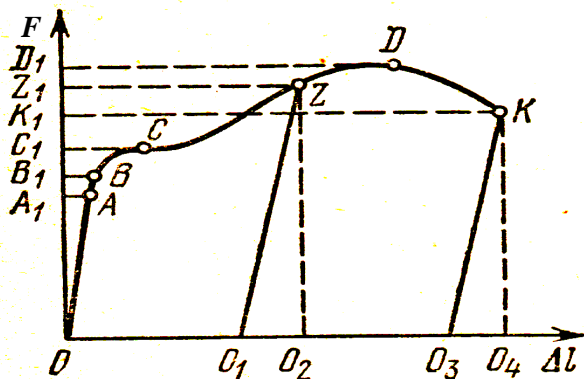


Рис. 1. Диаграмма растяжения образца из малоуглеродистой стали

При дальнейшем увеличении растягивающей силы за величину F_A диаграмма имеет криволинейный характер вследствие того, что деформации растут быстрее нагрузки.

Далее на диаграмме наблюдается горизонтальный участок (участок текучести), на котором деформации увеличиваются при постоянной растягивающей силе. На участке текучести происходят зна-

чительные пластические деформации материала. Точка C диаграммы лежит на этом участке. Ордината точки C соответствует нагрузке F_C , поделив которую на площадь поперечного сечения A получим

$$\text{предел текучести: } \sigma_{\tau} = \sigma_y = \frac{F_C}{A}.$$

Для малоуглеродистой стали предел текучести равен:

$$\sigma_{\tau} = 2400 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} = 240 \text{ МПа}.$$

После образования площадки текучести материал вновь начинает сопротивляться растяжению, вследствие чего соответствующий участок диаграммы является возрастающим (участок упрочнения). Точка D диаграммы соответствует наибольшей величине растягивающей силы, которая называется разрушающей нагрузкой, и при достижении которой начинается разрушение. Ордината точки D соответствует нагрузке F_D , поделив которую на первоначальную площадь поперечного сечения A получим предел прочности или вре-

менное сопротивление: $\sigma_{пч} = \sigma_u = \frac{F_D}{A}$. Для малоуглеродистой ста-

ли предел прочности составляет:

$$\sigma_{пч} = 4000 = \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} = 400 \text{ МПа}.$$

При достижении точки D поведение образца резко меняется. Если до этого в увеличении длины участвовал весь стержень, то с момента, когда нагрузка достигает величины F_D , деформация сосредоточивается в одном месте образца; это приводит к местному сужению поперечного сечения, то есть к образованию так называемой «шейки» (рис. 2).

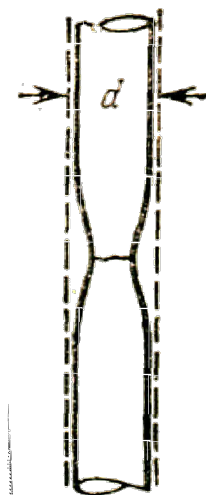


Рис. 2. Образование шейки при растяжении образца из малоуглеродистой стали.

Участок DK диаграммы называется участком разрушения, на котором происходит уменьшение поперечного сечения шейки. Окончательное разрушение (разрыв) происходит при нагрузке F_K , соответствующей ординате точки K . Разделив нагрузку соответ-

ствующую окончательному разрушению образца F_K на наименьшую площадь поперечного сечения в области шейки A_1 , получим истинный предел прочности: $\sigma_{пч} = \sigma_u = \frac{F_K}{A_1}$.

Таким образом, мы наметили на диаграмме несколько точек, ординаты которых отражают величину нагрузок, связанных с различными механическими характеристиками материала: пределом пропорциональности $\sigma_{пн}$, пределом текучести σ_r , пределом прочности $\sigma_{пч}$ (временным сопротивлением), истинным пределом прочности $\sigma_{пч}$. Все эти механические характеристики характеризуют способность материала сопротивляться стремлению внешних сил деформировать и разрушать образец при растяжении.

Если мы приостановим опыт при нагрузке, меньшей F_A и будем уменьшать величину растягивающей силы до нуля, то при разгрузке зависимость между силой и удлинением будет выражаться той же прямой, что и при нагрузке OA . А это означает, что после удаления нагрузки удлинение исчезает – образец испытывал лишь упругую деформацию.

Если произвести разгрузку образца от точки Z диаграммы, то при разгрузке диаграмма будет изображаться прямой ZO_1 , параллельной прямой OA . Следовательно, образец в этом случае не вернется к первоначальным размерам; отрезок O_1O_2 будет представлять собой упругое удлинение; отрезок OO_1 – остаточное удлинение и отрезок OO_2 – полное удлинение при нагрузке F_Z .

Если затем образец после разгрузки сразу начать вновь растягивать, то диаграмма при нагрузке изобразится той же прямой O_1Z , параллельной OA , что и при разгрузке, а после точки Z – той же кривой ZDK , которая была бы при отсутствии разгрузки. Таким образом, если сравнить диаграмму растяжения $OCZDK$ для образца, не подвергавшегося разгрузке, с диаграммой O_1ZDK для образца, предварительно нагруженного до точки Z и разгруженного до точки O_1 , то видно, что предел пропорциональности повышается до того напряжения, на которое предварительно был нагружен образец, а остаточная деформация после разрыва уменьшается на величину OO_1 , то есть на ту величину остаточной деформации, которая была приобретена при предварительном нагружении. Такое повышение предела пропорциональности и уменьшение остаточной деформации после

разрыва, вызванное предварительным нагружением за предел текучести с последующей разгрузкой, носит название наклепа.

Абсциссы диаграммы испытания характеризуют способность материала в большей или меньшей степени деформироваться. Отрезок O_3O_4 представляет собой величину упругой деформации образца к моменту разрыва, исчезающей в тот же момент, как произошло разрушение. Длина же $OO_3 = \Delta l_0$ есть величина остающихся удлинений участка l образца после разрыва.

Отношение удлинения Δl_0 к первоначальной длине образца является мерой пластичности материала, то есть его способности испытывать большие деформации при разрушении. Если величину этого отношения выразить в процентах, то получим остаточное относительное удлинение образца после разрушения:

$$\delta = \frac{\Delta l_0}{l} \cdot 100.$$

Существует еще одна величина характеризующая пластичность материала: остаточное относительное сужение. Выразив в процентах отношение уменьшения первоначальной площади сечения $(A-A_1)$ к моменту разрыва к первоначальной площади сечения A , получим вышеозначенную характеристику пластичности:

$$\psi = \frac{A-A_1}{A} \cdot 100,$$

где A_1 – площадь поперечного сечения шейки испытываемого образца.

Чем остаточное относительное сужение больше, тем материал пластичнее.

Определив величину всех вышеперечисленных характеристик для стали и сравнив их с таблицами ГОСТа можно установить марку стали, из которой изготовлен образец.

Порядок проведения испытания

Испытание образца на растяжение проводится на машине УИМ – 50М. Перед установкой образца в захваты машины, производят замеры его длины l и диаметра d при помощи штангенциркуля с точностью до 0,1 мм. Результаты обмеров заносятся в пункт 1а) отчета. По результатам обмера подсчитывается первоначальная площадь

поперечного сечения $A = \frac{\pi d^2}{4}$, которая также заносится в пункт 1а) отчета.

После обмеров образец устанавливается в зажимах машины. Заправив бумагу в барабан записывающего устройства, включают нагрузочное устройство и внимательно следят за стрелкой силоизмерителя, чтобы зарегистрировать силу, соответствующую пределу текучести материала. При достижении этой нагрузки стрелка либо на короткое время останавливается, либо резко уменьшается скорость ее движения. После разрыва образца машина останавливается, а стрелка замирает на максимальном значении нагрузки F_D , соответствующей точке D диаграммы (рис. 1). Части разорванного образца складываются вместе, и производится замер длины l_1 и диаметра шейки d_1 , которые заносятся в пункт 1б) отчета. По результатам обмера подсчитывается площадь поперечного сечения шейки

$A_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}$, которая также заносится в пункт 1б) отчета.

Далее от рулона бумаги, закрепленной на барабане, отделяется та часть, где разместились диаграмма. Обработка диаграммы начинается с определения начала координат O путем продолжения прямолинейного участка до пересечения его с осью абсцисс. Переносим диаграмму, полученную в результате испытания в пункт 3 отчета. Поделив значение максимальной нагрузки, на котором остановилась стрелка в конце опыта, на ординату точки D диаграммы, получим масштаб сил μ_F . Поделив значение разности длин образца после разрыва l_1 и перед испытанием l на длину отрезка OO_3 диаграммы, получим масштаб абсолютных удлинений $\mu_{\Delta l}$. Заносим полученные значения масштабов μ_F и $\mu_{\Delta l}$ в пункт 3 отчета.

Измерив ординаты точек A, C, D, K (рис. 1), определяем значения нагрузок F_A, F_C, F_D, F_K , умножая соответствующие ординаты OA, OC, OD, OK на масштаб сил μ_F (пункт 4 отчета). После этого определяем механические характеристики материала образца: предел пропорциональности $\sigma_{пч}$, предел текучести σ_T , предел прочности $\sigma_{пч}$, истинный предел прочности $\sigma_{пч}$ (пункты 5а, 5б, 5в, 5г отчета). Затем определяем допускаемое напряжение для материала образ-

ца, поделив предел прочности $\sigma_{пч}$ на коэффициент запаса прочности $k = 2$ (пункт 5д отчета).

Вычислив остаточное удлинение $\Delta l_o = l_1 - l$, а также первоначальную площадь поперечного сечения $A = \frac{\pi d^2}{4}$ и площадь по-

перечного сечения шейки $A_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}$, определяют характеристики пла-

стичности: остаточное относительное удлинение $\delta = \frac{\Delta l_o}{l} \cdot 100$ и

остаточное относительное сужение $\Psi = \frac{A - A_1}{A} \cdot 100$ (пункты 6б, 6в отчета).

Определив абсолютное удлинение образца $\Delta l_A = A_1 A \cdot \mu_{\Delta l}$, соответствующее точке A диаграммы растяжения, вычисляют модуль упругости первого рода $E = \frac{F_A \cdot l}{A \cdot \Delta l_A}$ (пункт 6г отчета).

Оформляем отчет по предлагаемой форме.

Отчет по лабораторной работе № 1

Цель лабораторной работы: _____

1. Внешний вид образца и его размеры

а) до испытания (рис. 3)

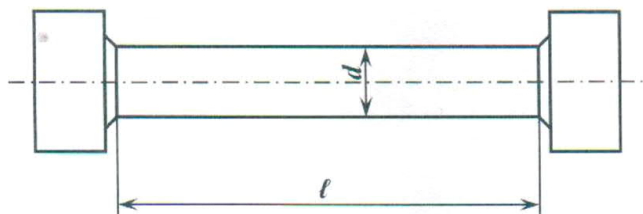


Рис. 3. Внешний вид образца до испытания.

длина $l =$

диаметр $d =$

площадь поперечного сечения $A = \frac{\pi d^2}{4} =$

б) после испытания (рис. 4)

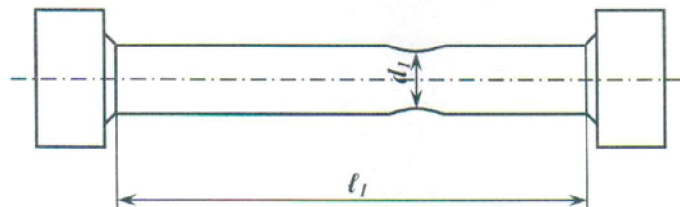


Рис. 4. Внешний вид образца после испытания.

длина $l_1 =$

диаметр $d_1 =$

площадь поперечного сечения шейки $A_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} =$

2. Принципиальная схема испытательной машины УИМ-50М (рис. 5)

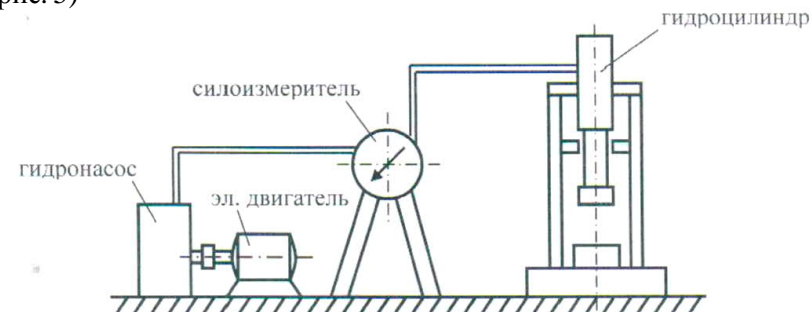


Рис. 5. Испытательная машина УИМ-50М.

3. Диаграмма растяжения



Масштаб диаграммы:

- масштаб сил $\mu_F = \frac{F_{max}}{OD_1} = \frac{\text{кг}}{\text{мм}} = \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$

- масштаб абсолютных удлинений $\mu_{\Delta l} = \frac{\Delta l_0}{OO_3} = \frac{\text{мм}}{\text{мм}}$

4. Результаты испытания

а) нагрузка при пределе пропорциональности:

$$F_A = OA_I \cdot \mu_F =$$

б) нагрузка при пределе текучести:

$$F_C = OC_I \cdot \mu_F =$$

в) нагрузка при пределе прочности (временном сопротивлении):

$$F_D = OD_I \cdot \mu_F =$$

г) нагрузка в момент разрушения:

$$F_K = OK_I \cdot \mu_F =$$

5. Механические характеристики и характеристика прочности

а) предел пропорциональности:

$$\sigma_{\text{про}} = \sigma_{\text{пр}} = \frac{F_A}{A} =$$

б) предел текучести:

$$\sigma_{\tau} = \sigma_y = \frac{F_C}{A} =$$

в) предел прочности (временное сопротивление):

$$\sigma_{\text{пч}} = \sigma_u = \frac{F_D}{A}$$

г) истинный предел прочности:

$$\sigma'_{\text{пч}} = \sigma'_u = \frac{F_K}{A_1}$$

д) допускаемое напряжение (характеристика, используемая при расчетах на прочность):

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{пч}}}{k} = \frac{\sigma_u}{k} =$$

где $k = 2$ – коэффициент запаса прочности.

6. Характеристики пластичности и упругости

а) остаточное абсолютное удлинение:

$$\Delta l_0 = \ell_1 - \ell =$$

б) остаточное относительное удлинение:

$$\delta = \frac{\Delta \ell_0}{\ell} \cdot 100 =$$

в) остаточное относительное сужение:

$$\Psi = \frac{A - A_1}{A} \cdot 100 =$$

г) модуль упругости первого рода E (модуль Юнга):

Согласно закону Гука: $\Delta \ell_A = \frac{F_A \cdot \ell}{A \cdot E}$,

откуда $E = \frac{F_A \cdot \ell}{A \cdot \Delta \ell_A} =$

где: $F_A =$

$l =$

$A =$

$\Delta \ell_A = A_1 A \cdot \mu_{\Delta l}$ - абсолютное удлинение образца соответствующее точке A диаграммы растяжения.

Контрольные вопросы

1. Какой вид имеет диаграмма растяжения образцов из малоуглеродистой стали? Нарисуйте ее и поясните все стадии деформации.
2. В каких координатах строится диаграмма растяжения?
3. Что такое «упругая стадия деформации»?

4. Какие деформации называются упругими, и какие – пластичными?

5. Что такое «текучесть материала»?

6. Что такое «предел пропорциональности»?

7. Что такое «предел прочности»?

8. При какой нагрузке у образца возникает «шейка»?

9. Какие материалы называются пластичными, и какие – хрупкими?

10. Какие характеристики материала определяют его пластичность?

11. Что такое «наклеп»?

12. Как определить марку стали, если ее механические характеристики известны?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Испытание различных материалов на сжатие

Цель лабораторной работы:

Определение основных механических характеристик различных материалов с помощью испытаний на сжатие.

Общие сведения

Испытание образцов на сжатие проводится при статическом нагружении, то есть нагрузка прикладывается плавно, без толчков и ударов, с постепенным возрастанием во времени.

Испытанию на сжатие в данной лабораторной работе подвергаются образцы из различных материалов (рис. 6) в виде цилиндра (малоуглеродистая сталь, чугун) или кубика (дерево). Размеры образцов для различных материалов различны. Для стального и чугунного цилиндров высота должна быть в пределах $h \leq 2d$ с целью обеспечения устойчивости образцов. Ребро кубика может быть от 20 мм до 40 мм.

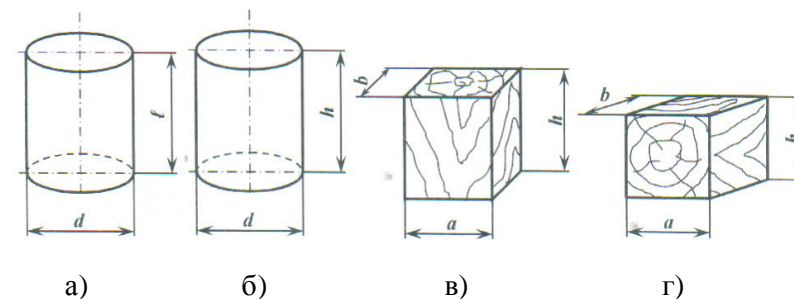


Рис. 6. Образцы из различных материалов, испытываемые на сжатие: а) мягкая сталь; б) чугун; в) дерево вдоль волокон; г) дерево поперек волокон.

При сжатии цилиндра из пластичного материала при напряжениях ниже предела пропорциональности материал ведет себя так же, как и при растяжении. Величина предела пропорциональности и модуля упругости для пластичных материалов при сжатии и растяжении примерно одинаковы. Как известно, пластичность это способность материала испытывать значительные деформации, прежде чем он разрушится под действием внешних сил.

После перехода за предел пропорциональности возникают остаточные деформации. Благодаря трению между опорными плитами пресса и основаниями образца затрудняются поперечные деформации материала у верхнего и нижнего торцов образца, вследствие чего он принимает сначала бочкообразную форму, а затем форму монеты (рис. 7а). По мере увеличения площади поперечного сечения образца приходится увеличивать нагрузку; образец продолжает деформироваться. Образец из пластичного материала невозможно разрушить с помощью испытания на сжатие. Диаграмма при сжатии пластичных материалов не имеет напряжений аналогично пределу прочности при разрыве (рис. 7б).

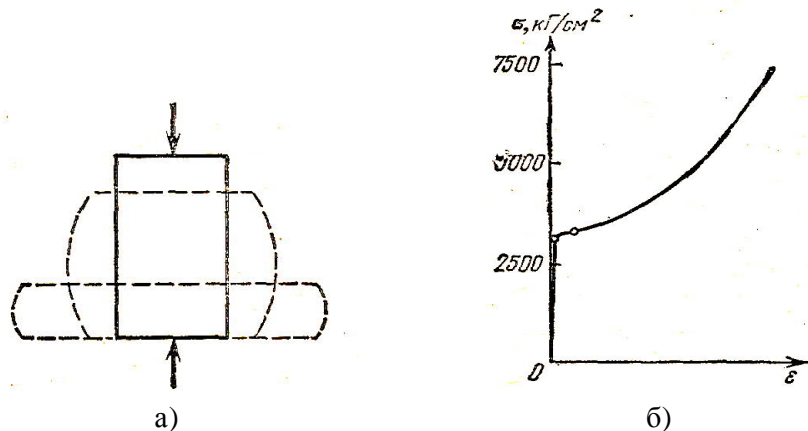


Рис. 7. Деформация (а) и диаграмма напряжений (б) при сжатии образца из пластичного материала.

Хрупкие материалы (например, чугун, камень, бетон) при сжатии разрушаются таким же образом, как и при растяжении, то есть при весьма малых деформациях.

При испытании на сжатие чугунного образца его части, по достижении разрушающей нагрузки, сдвигаются одна по другой по косым площадкам (рис. 8а). При разрушении чугуна в нем возникают наклонные трещины, направленные примерно под углом 45° к оси образца, то есть параллельно площадкам, в которых действуют наибольшие касательные напряжения. Диаграмма сжатия чугунного образца представлена на рисунке 8б.

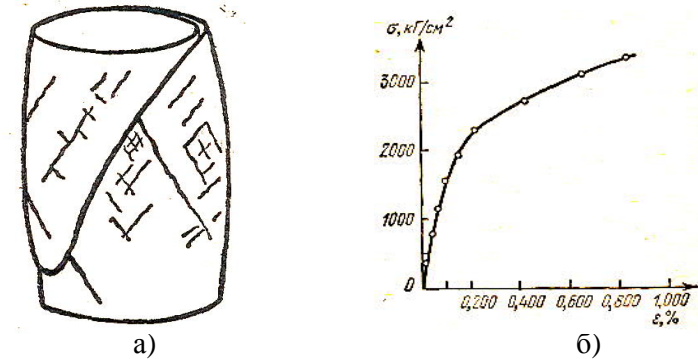


Рис. 8. Раздробленный сжатием вдоль оси чугунный цилиндр (а) и диаграмма напряжений при сжатии чугуна (б).

Некоторые материалы обладают разными свойствами в различных направлениях. Это так называемые анизотропные материалы (например, дерево, слоистые пластмассы, некоторые камни, ткани).

При сжатии образцов из дерева получаются резко отличающиеся результаты, в зависимости от направления сжатия по отношению к волокнам. При сжатии дерева вдоль волокон предел прочности оказывается примерно в 10 раз больше, чем при сжатии поперек волокон, а деформация значительно меньше. На рисунке 9 показаны диаграммы сжатия деревянных образцов после испытаний вдоль волокон и поперек волокон.

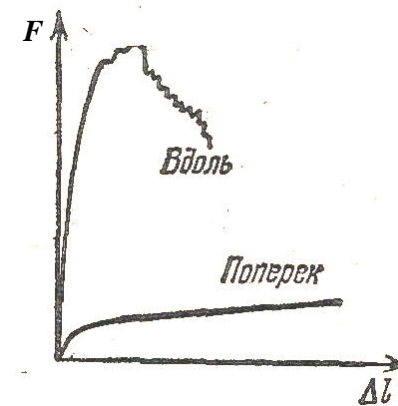


Рис. 9. Диаграммы сжатия деревянного кубика вдоль и поперек волокон.

Для сухой сосны средние значения предела прочности на сжатие вдоль волокон составляют примерно $35 - 40 \text{ Н/мм}^2$, поперек волокон предел прочности составляет 5 Н/мм^2 .

Разрушение твердых пород дерева сопровождается сдвигами по косым площадкам, следовательно, древесина также разрушается от действия касательных напряжений.

Порядок проведения испытаний

Все опыты проводятся на машине УИМ-50М (универсальная испытательная машина мощностью 50 тонн).

Испытания на сжатие проводятся над четырьмя образцами: из малоуглеродистой стали, чугуна, дерева вдоль волокон, дерева поперек волокон (соответственно опыты № 1, № 2, № 3, № 4).

Перед испытанием каждый образец обмеряется. У металлических образцов в виде цилиндра определяется диаметр основания d и высота h (или l). У деревянных образцов измеряется ребро кубика. Затем подсчитывается площадь поперечного сечения образца A . Эти данные заносятся в пункт 1а отчета для каждого опыта.

Образец устанавливается на опорную плиту прессы и после этого машина запускается. Верхняя подвижная плита прессы начинает опускаться и доводится до легкого соприкосновения с образцом, после чего машину останавливают. Стрелку силоизмерительного устройства устанавливают на нуле. Далее машину вновь запускают, и начинается собственно процесс сжатия образца.

Через какое-то время образец разрушается (исключая образец из мягкой стали). Стрелка силоизмерительного устройства останавливается на определенном значении, и машина автоматически отключается (для образца из мягкой стали опыт останавливается по усмотрению экспериментатора). Значение разрушающей нагрузки или нагрузки в момент приостановления опыта записывается в пункт 2 отчета по каждому опыту.

У разрушенного образца измеряются размеры и фиксируются в пункте 1б отчета для каждого опыта. У образцов из малоуглеродистой стали и чугуна измеряются диаметр d_1 и высота h_1 (или l_1). У деревянных образцов измеряются ребра параллелепипеда a_1, b_1, h_1 .

Далее вычисляется условный предел прочности на сжатие (напряжение в момент окончания опыта) для стального образца и пределы прочности на сжатие для чугуна, дерева вдоль волокон, дерева поперек волокон (пункт 3 отчета для каждого опыта).

В завершение определяется условное допускаемое напряжение на сжатие для малоуглеродистой стали и допускаемое напряжение на сжатие для чугуна, дерева вдоль волокон, дерева поперек волокон (пункт 4 отчета для каждого опыта). Для определения допускаемого напряжения на сжатие предел прочности на сжатие делится на коэффициент запаса прочности.

Оформляем отчет по предлагаемой форме.

Отчет по лабораторной работе № 2

Цель лабораторной работы: _____

Опыт № 1. Сжатие образца из мягкой стали

1. Внешний вид образца и его размеры:

а) до опыта (рис. 10):

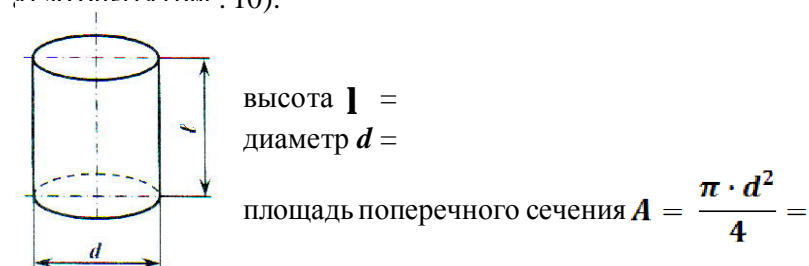


Рис. 10. Образец из мягкой стали до опыта на сжатие

б) после опыта (рис. 11):

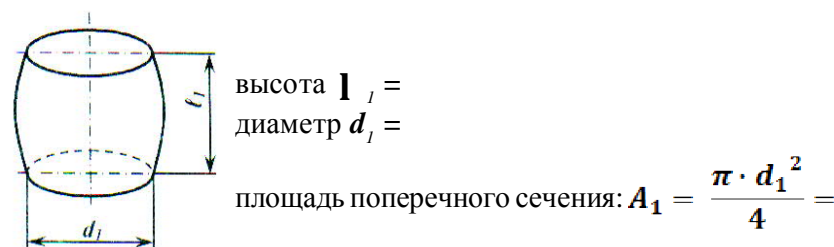


Рис. 11. Образец из мягкой стали после опыта на сжатие.

2. Нагрузка в момент окончания опыта:

$$F_{B_1} =$$

3. Напряжение в момент окончания опыта:

$$\sigma_{B_1} = \frac{F_{B_1}}{A} =$$

4. Условное допускаемое напряжение:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{пред}}}{\kappa} =$$

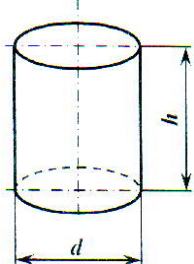
где $\kappa = 2,5$ – коэффициент запаса прочности;

$$\sigma_{\text{пред}} = \sigma_{B_1}.$$

Опыт № 2. Сжатие чугунного образца

1. Внешний вид образца и его размеры:

а) до опыта (рис. 12):

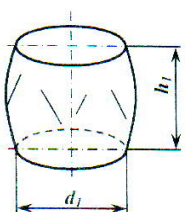


высота $h =$
диаметр $d =$

площадь поперечного сечения: $A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} =$

Рис. 12. Образец из чугуна до опыта на сжатие.

б) после опыта (рис. 13):



высота $h_1 =$
диаметр $d_1 =$

Рис. 13. Образец из чугуна после опыта на сжатие

2. Нагрузка в момент разрушения образца:

$$F_{B_1} =$$

3. Предел прочности:

$$\sigma_{B_1} = \frac{F_{B_1}}{A} =$$

4. Допускаемое напряжение:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{пред}}}{\kappa} =$$

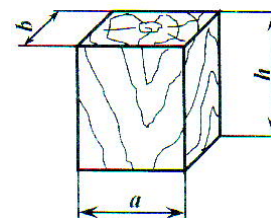
где $\kappa = 2,5$ – коэффициент запаса прочности;

$$\sigma_{\text{пред}} = \sigma_{\text{нч}} = \sigma_{B_1}.$$

Опыт № 3. Сжатие дерева вдоль волокон.

1. Внешний вид образца и его размеры:

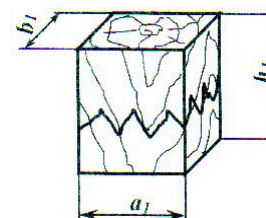
а) до опыта (рис. 14):



$a =$
 $b =$
 $h =$
 $A = a \cdot b =$

Рис. 14. Деревянный образец, подготовленный для сжатия вдоль волокон, до опыта.

б) после опыта (рис. 15):



$a_1 =$
 $b_1 =$
 $h_1 =$
 $A_1 = a_1 \cdot b_1 =$

Рис. 15. Деревянный образец после опыта на сжатие вдоль волокон.

2. Нагрузка в момент разрушения:

$$F_{B_1} =$$

3. Предел прочности:

$$\sigma_{B_1} = \sigma_u = \frac{F_{B_1}}{A_1} =$$

4. Допускаемое напряжение:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{пред}}}{k} =$$

где $k = 4$ – коэффициент запаса прочности;

$$\sigma_{\text{пред}} = \sigma_{\text{нч}} = \sigma_{B_1}.$$

Опыт № 4. Сжатие дерева поперек волокон.

1. Внешний вид образца и его размеры.

а) до опыта (рис. 16):

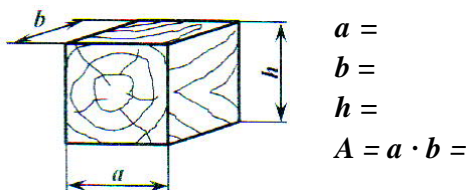


Рис. 16. Деревянный образец, подготовленный для сжатия поперек волокон, до опыта.

б) после опыта (рис. 17):

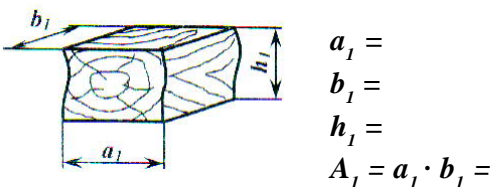


Рис. 17. Деревянный образец после опыта на сжатие поперек волокон

2. Нагрузка в момент разрушения:

$$F_{B_1} =$$

3. Предел прочности:

$$\sigma_{B_1} = \sigma_u = \frac{F_{B_1}}{A_1} =$$

4. Допускаемое напряжение:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{пред}}}{k} =$$

где $k = 4$ – коэффициент запаса прочности;

$$\sigma_{\text{пред}} = \sigma_{\text{нч}} = \sigma_{B_1}.$$

Контрольные вопросы

1. Что такое «допускаемое напряжение на сжатие»?
2. Что такое «пластичность»?
3. Какие материалы называются анизотропными?
4. Какое различие между диаграммой механических характеристик и диаграммой напряжений?
5. Какие материалы называются хрупкими?
6. Почему у хрупких материалов разрушение наблюдается в плоскостях, расположенных под углом 45° к оси образца (вдоль которой происходит сжатие)?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Испытание металлических образцов на сдвиг

Цель лабораторной работы:

Определение предела прочности и напряжений смятия материала при испытании его на сдвиг.

Общие сведения

Чистый сдвиг это такой вид напряженного состояния материала, когда по граням мысленно выделенного из материала элементарного кубика действуют только касательные напряжения, а нормальные напряжения равны нулю (рис. 18а). Чистый сдвиг это частный вид плоского напряженного состояния, когда по двум взаимно перпендикулярным площадкам действуют главные напряжения σ_1 и σ_3 равные по величине и противоположные по знаку, а третье главное напряжение σ_2 равно нулю (рис. 18б).

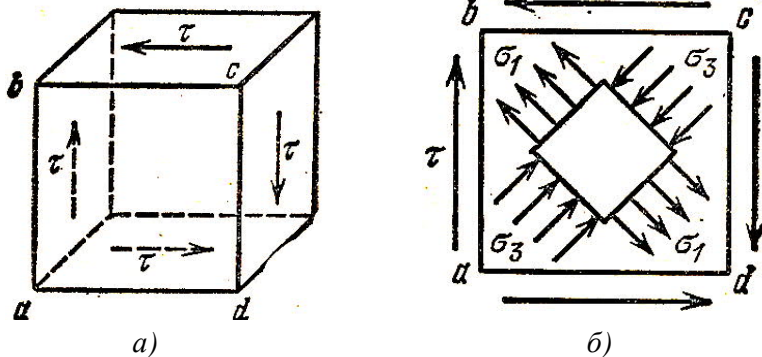


Рис. 18. Элемент кубической формы (а) и различный вид работы материала при действии касательных напряжений τ и главных напряжений σ_1 и σ_3 (б).

На практике целый ряд деталей машин и элементов конструкций работает в таких условиях, при которых внешние силы стремятся их разрушить путем сдвига. В соответствии с этим, при проверке прочности элементов на первый план выступают касательные напряжения. Примером деталей работающих на сдвиг (срез) могут служить болтовые и заклепочные соединения.

Порядок проведения испытаний

Опыты проводятся на машине ПСУ–10 (пресс строительный универсальный, 10 тонн). Испытания на срез проводятся при статическом нагружении с применением специальных приспособлений, демонстрирующих работу материала на сдвиг. Сдвигу подвергаются образцы, представляющие собой стержни круглого сечения.

В данной лабораторной работе предусмотрено проведение трех опытов: испытание на срез болтового соединения из трех листов; испытание на срез болтового соединения из пяти листов; испытание на срез головки болта.

Для проведения опыта № 1 используется приспособление, имитирующее собой болтовое соединение и показанное на рисунке 19. Два испытуемых образца помещают в совмещенные отверстия трех пластин. Затем приспособление ставится на опорную плиту пресса, после чего машина запускается. При этом пластины сжимаются рукой экспериментатора до тех пор, пока верхняя плита пресса слабо придавит выступающую пластину приспособления. Далее стрелка силоизмерительного устройства устанавливается на нулевой отметке, и машина вновь запускается (верхняя плита пресса начинает перемещаться вниз). Нагрузка медленно возрастает и через некоторое время происходит разрушение образцов путем среза. Стрелка силоизмерительного устройства замирает на максимальном значении $F_{в}$ силы, вызвавшей разрушение. Это значение записывается в пункте 7 отчета. При нагружении выступающей вверх пластины (сверху) происходит сдвиг средних частей образцов относительно крайних их частей, поскольку средняя пластина, перемещаясь вниз под действием силы F , увлекает за собой средние части испытуемых стержней. Перед опытом измеряют диаметр образцов d и толщину пластин t (пункты 2 и 10 отчета), а также подсчитывают число болтов n и число соединяемых листов z (пункты 3 и 4 отчета).

Рабочая площадь (площадь среза) в опыте № 1 равна удвоенной площади поперечного сечения для каждого из двух образцов. Это обусловлено тем, что срез происходит одновременно по двум плоскостям: плоскости соприкосновения средней и левой пластины и плоскости контакта средней и правой пластины. Внутренние усилия, передающиеся по этим сечениям от крайних частей к центральным,

будут уравнивать силу F . Следовательно, напряжения, возникающие в этих поперечных сечениях образцов и действующие в плоскостях сечений, являются касательными. Обычно принимают равномерное распределение этих напряжений по сечениям. Тогда при диаметре стержней d на единицу площади сечения будет приходиться напряжение:

$$\tau = \frac{F}{\pi \cdot d^2}.$$

Для обеспечения условия прочности на срез для соединения необходимо соблюдение условия:

$$\tau_{max} \leq [\tau].$$

Величину допускаемого касательного напряжения $[\tau]$ можно установить теоретически, если известно допускаемое нормальное напряжение $[\sigma]$:

$$[\tau] = 0,8 \cdot [\sigma].$$

Однако для расчетов соединений работающих на срез ввиду их приближенности правильнее исходить непосредственно из опытов на сдвиг. Для этого определяют экспериментальным путем разрушающую нагрузку F_{B1} , а затем определяют предел прочности:

$$\tau_{B1} = \frac{F_{B1}}{\pi \cdot d^2}.$$

При известном пределе прочности τ_{B1} , выбирают надлежащий коэффициент запаса прочности k и устанавливают допускаемое напряжение $[\tau]$:

$$[\tau] = \frac{\tau_{B1}}{k}.$$

Болтовые соединения, кроме проверки на срез, проверяют на смятие. Формула напряжений смятия является эмпирической и имеет вид:

$$\sigma_{см} = \frac{F}{n \cdot t \cdot d},$$

где n – число болтов;

d – диаметр болта;

t – толщина пластины (листа).

Для опыта № 1 напряжения смятия в момент среза образцов определяются по формуле:

$$\sigma_{см} = \frac{F_{B1}}{2 \cdot t \cdot d},$$

где $2 \cdot t \cdot d = A_{см}$ – площадь смятия.

Как правило, допускаемое напряжение на смятие принимают:

$$[\sigma_{см}] = (1,5 - 2) \cdot [\sigma].$$

Для проведения опыта № 2 используется приспособление, имитирующее собой болтовое соединение и показанное на рисунке 20. Два испытуемых образца помещают в совмещенные отверстия пяти пластин. Далее происходит то же самое, что и при проведении опыта № 1. После завершения опыта значение разрушающей нагрузки заносится в пункт 7 отчета. Перед опытом измеряют диаметр образцов d и толщину пластин t (пункты 2 и 10 отчета), а также подсчитывают число болтов n и число соединяемых листов z (пункты 3 и 4 отчета).

Рабочая площадь (площадь среза) в опыте № 2 в отличие от опыта № 1 равна площади поперечного сечения стержня умноженной на четыре для каждого из двух образцов. Это обусловлено тем, что срез обоих образцов происходит одновременно по четырем плоскостям: плоскостям контакта каждой из двух выступающих вверх пластин со смежными с ними пластинами.

Касательные напряжения в поперечных сечениях образцов в опыте № 2 будут равны:

$$\tau = \frac{F}{2 \cdot \pi \cdot d^2}.$$

Для опыта № 2 напряжения смятия в момент среза образцов определяются по формуле:

$$\sigma_{см} = \frac{F_{B1}}{4 \cdot t \cdot d}$$

где $4 \cdot t \cdot d = A_{см}$ – площадь смятия.

Для проведения опыта № 3 используется приспособление в виде полого цилиндра, в отверстие которого вставляется болт (рис. 21). При этом нижняя часть тела болта входит в отверстие цилиндра, а головка болта (в виде кольца) опирается на верхнее основание цилиндра. Верхняя часть тела болта выступает вверх так, чтобы

к ней можно было приложить давление от верхней плиты пресса.

Перед опытом измеряются диаметр головки болта D , диаметр тела болта d , толщина головки болта t . Результаты обмеров заносятся в пункты 2, 3, 4 отчета.

Приспособление устанавливается на нижнюю неподвижную плиту пресса. Затем машина запускается, и верхняя плита пресса начинает медленно опускаться до соприкосновения с верхним концом образца. После этого движение верхней плиты останавливается экспериментатором. Далее стрелка силоизмерительного устройства устанавливается на нулевой отметке. Затем верхняя плита пресса вновь приводится в движение, и нагрузка начинает передаваться на образец. Через некоторое время происходит разрушение болта путем сдвига; при этом машина автоматически останавливается и стрелка силоизмерительного устройства останавливается на значении нагрузки, разрушившей образец. Величина разрушающей нагрузки вписывается в пункт 7 отчета. При разрушении образца тело болта отделяется от кольца и проскальзывает внутрь полости цилиндра, а кольцо остается на верхнем основании цилиндра.

Отчет по лабораторной работе № 3

Цель работы: _____

Опыт № 1. Испытание на срез болтового соединения из трех листов (материал болта ...).

1. Схема приспособления (рис. 19):

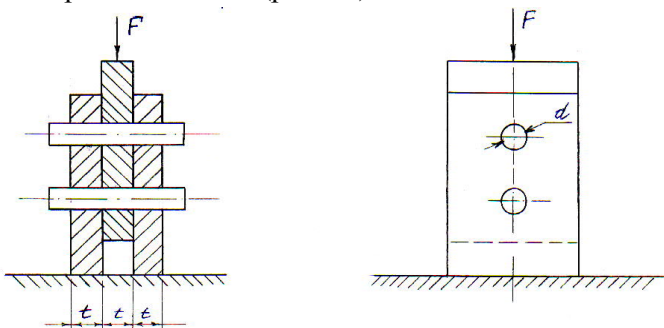


Рис. 19. Болтовое соединение из трех листов в двух проекциях.

2. Диаметр болта $d =$

3. Число болтов $n =$

4. Число соединяемых листов $z =$

5. Площадь поперечного сечения одного болта:

$$A_1 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot}{4}$$

6. Площадь среза:

$$A = A_1 \cdot n \cdot (z - 1) =$$

7. Нагрузка в момент разрушения:

$$F_{B1} =$$

8. Предел прочности при срезе:

$$\tau_{B1} = \tau_u = \frac{F_{B1}}{A} =$$

9. Допускаемое напряжение на срез для данного материала (...):

$$[\tau] = \tau_{adm} = \frac{\tau_{B1}}{k} =$$

где $k = 4$ – коэффициент запаса прочности.

10. Толщина пластин:

$$t =$$

11. Площадь смятия для средних частей образцов:

$$A_{cm} = 2 \cdot t \cdot d =$$

12. Напряжение смятия:

$$\sigma_{cm} = \frac{F_{B1}}{A_{cm}} =$$

Опыт № 2. Испытание на срез болтового соединения из пяти листов (материал болта ...).

1. Схема приспособления (рис. 20):

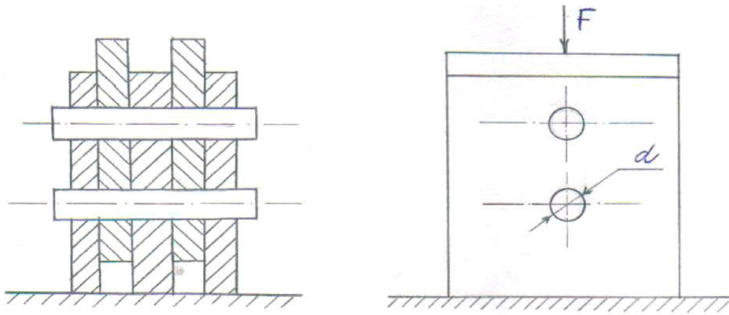


Рис. 20. Болтовое соединение из пяти листов в двух проекциях.

2. Диаметр болта $d =$

3. Число болтов $n =$

4. Число соединяемых листов $z =$

5. Площадь поперечного сечения одного болта:

$$A_1 = A_I = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot}{4}$$

6. Площадь среза:

$$A = A_1 \cdot n \cdot (z - 1) =$$

7. Нагрузка в момент разрушения:

$$F_{B_1} =$$

8. Предел прочности при срезе: =

$$\tau_{B_1} = \tau_u = \frac{F_{B_1}}{A} =$$

9. Допускаемое напряжение на срез для данного материала (...):

$$[\tau] = \tau_{adm} = \frac{\tau_{B_1}}{\kappa} =$$

где $\kappa = 4$ – коэффициент запаса прочности.

10. Толщина пластин:

$$t =$$

11. Площадь смятия для тех частей образцов, которые проходят перед опытом через выступающие вверх пластины приспособления:

$$A_{см} = 4 \cdot t \cdot d =$$

12. Напряжение смятия:

$$\sigma_{см} = \frac{F_{B_1}}{A_{см}} =$$

Опыт № 3. Испытание на срез головки болта (материал ...).

1. Схема приспособления (рис. 21):

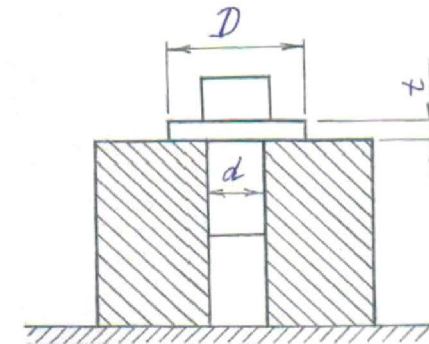


Рис. 21. Приспособление для испытания на срез головки болта.

2. Диаметр головки болта: $D =$

3. Диаметр тела болта: $d =$

4. Толщина головки болта: $t =$

5. Площадь среза:

$$A_{cp} = \pi \cdot d \cdot t =$$

6. Площадь смятия:

$$A_{см} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) =$$

7. Нагрузка в момент разрушения:

$$F_{B_1} =$$

8. Предел прочности при срезе:

$$\tau_{B_1} = \tau_u = \frac{F_{B_1}}{A_{cp}} =$$

9. Допускаемое напряжение на сдвиг:

$$[\tau] = \tau_{adm} = \frac{\tau_{B_1}}{\kappa} =$$

где $\kappa = 4$ – коэффициент запаса прочности.

10. Напряжение смятия:

$$\sigma_{см} = \frac{F_{B_1}}{A_{см}} =$$

Контрольные вопросы

1. Что такое чистый сдвиг?
2. Теоретическое определение допускаемых касательных напряжений.
3. Как определяется модуль упругости второго рода?
4. Как касательные напряжения распределяются в поперечном сечении образцов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Испытание стального образца на кручение

Цель лабораторной работы:

Определение механических характеристик и модуля сдвига материала путем испытания образца на кручение.

Общие сведения

С деформацией кручения на практике приходится встречаться очень часто: оси подвижного состава, трансмиссионные валы, элементы пространственных конструкций, пружины и обыкновенный замочный ключ – все это примеры стержней, работающих на кручение. Деформация кручения вызывается парами сил, лежащими в плоскостях, перпендикулярных к оси стержня (рис. 22).

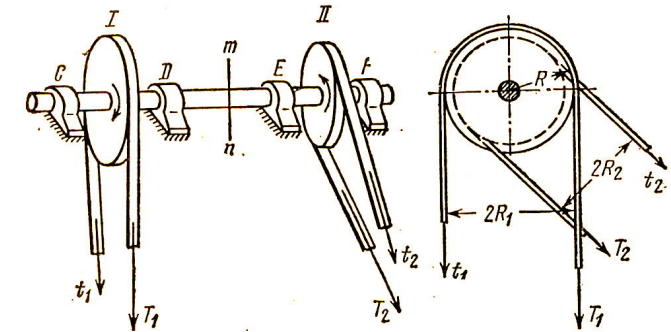


Рис. 22. Вал CDEF, скручиваемый парами сил T_1 и t_1 , T_2 и t_2 .

Момент внутренних усилий, возникающих в любом сечении вала при кручении и поворачивающий это сечение вокруг продольной оси, называется крутящим моментом и обозначается через T или M_k (рис. 23).

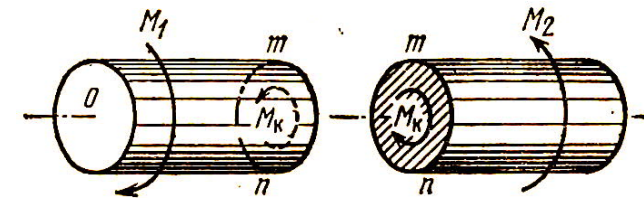


Рис. 23. Равновесие двух частей рассеченного вала под действием внешнего момента (M_1 или M_2) и крутящего момента M_k .

При кручении вала круглого сечения приняты следующие гипотезы (допущения):

- все поперечные сечения остаются плоскими;
- радиусы, проведенные в них, остаются прямыми;
- расстояния между сечениями не изменяются.

Вышеперечисленные гипотезы приняты на основании опытов на скручивание стержней круглого сечения.

Касательное напряжение в каждой точке поперечного сечения скручиваемого стержня прямо пропорционально расстоянию с этой точки от центра сечения:

$$\tau_{\rho} = \frac{M_{\kappa}}{J_p} \rho,$$

где M_{κ} – крутящий момент в данном сечении; J_p – полярный момент инерции сечения (для круглого сечения

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

Графически этот закон изменения касательных напряжений выражается прямой линией (рис. 24). Наибольшего значения напряжения достигают в точках, лежащих у самого края сечения, и обращаются в нуль в центре.

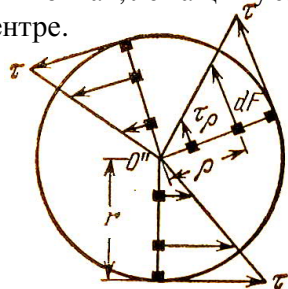


Рис. 24. Диаграммы касательных напряжений в поперечном сечении вала, построенные вдоль трех радиусов.

По условию прочности при кручении наибольшее касательное напряжение не должно превышать допускаемого напряжения:

$$\tau_{\max} = \frac{M_{\kappa}}{W_p} \leq [\tau],$$

где W_p – полярный момент сопротивления сечения (для круглого сечения $W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16}$).

Из условия прочности при известном крутящем моменте и выбранном допускаемом напряжении можно определить необходимый диаметр вала.

При скручивании вала круглого сечения парами с моментом M каждое поперечное сечение поворачивается относительно другого вокруг оси вала на некоторый угол φ , называемый углом закручивания (рис. 25). Величина этого угла прямо пропорциональна величине крутящего момента M_{κ} и расстоянию l между сечениями и обратно пропорциональна модулю сдвига материала G и полярному моменту инерции сечения J_p :

$$\varphi = \frac{l \cdot M_{\kappa}}{G \cdot J_p}.$$

где $G \cdot J_p$ – жесткость при кручении.

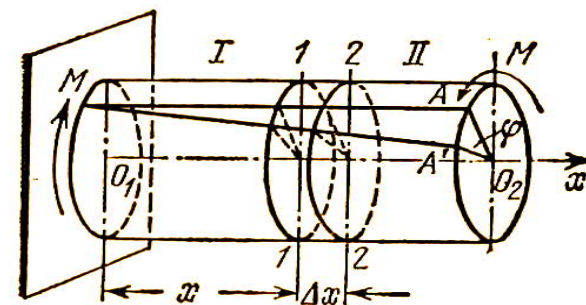


Рис. 25. Деформации стержня круглого сечения при кручении

Размеры вала следует определять не только из условия прочности, но и из условия жесткости:

$$\varphi = \frac{l \cdot M_{\kappa}}{G \cdot J_p} \leq [\varphi],$$

где $[\varphi]$ – допускаемый угол закручивания.

Порядок проведения испытаний

Испытания образца проводятся на испытательной машине КМ–50–1, которая состоит из следующих узлов (рис. 26):

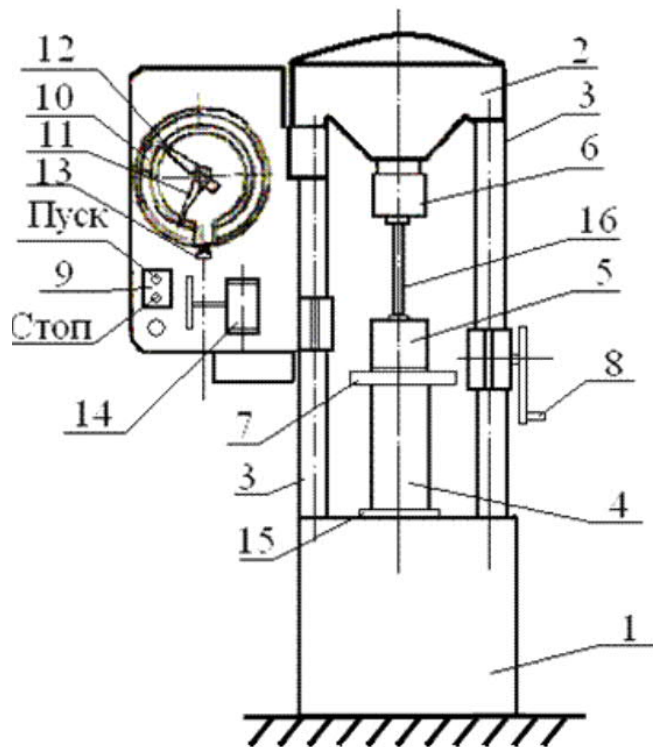


Рис. 26. Схема испытательной машины КМ-50-1

1. Корпус, включающий нижнюю (1) и верхнюю (2) части, а также связывающие колонны 3. В нижней части корпуса машины расположены механический и ручной приводы для нагружения образца. Ручной привод приводится в работу рукояткой 8, а механический – кнопочным устройством 9.

2. Захваты 5 и 6, служащие для закрепления образца 16. Нижний захват 5 подвижный, его положение регулируется маховиком 7, вращающим нагружающий винт 4. Верхний захват 6 неподвижный.

3. Измерительное устройство, состоящее из шкал 10, регулировочного винта 13 и стрелок 11 и 12.

4. Записывающее устройство 14, позволяющее сделать диаграмму кручения.

5. Лимб 15 для измерения углов закручивания сечения образца.

Образец, подвергающийся испытанию, представляет собой стержень круглого поперечного сечения, на концах которого имеются участки прямоугольного поперечного сечения. На этих участках производится крепление образца в захватах машины, с целью исключения проскальзывания в процессе нагружения. Необходимо измерить диаметр образца d штангенциркулем с точностью до 0,1 мм.

Для определения взаимного угла поворота двух сечений применяется индикаторное устройство, представленное на рис. 27.

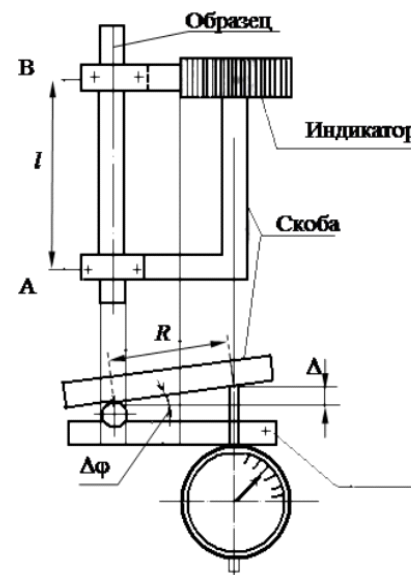


Рис. 27. Схема индикаторного устройства.

В сечении A на образце закрепляется скоба, служащая упором для ножки индикатора. В сечении B на образце закрепляется рычаг, на конце которого укреплен индикатор. Расстояние между сечениями A и B называется базой замера деформации ($l = 100$ мм). Взаимный угол поворота сечения A относительно сечения B определяется отношением:

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta n}{R} = \frac{\Delta n \cdot K}{R},$$

где Δn – приращение показаний индикатора в делениях; R – плечо упорного рычага, то есть расстояние от оси образца до упора ножки индикатора ($R = 68$ мм); K – цена деления индикатора, мм.

На образце закрепляется индикаторное устройство.

Образец вставляется в захваты 5 и 6 машины.

Регулировочным винтом 13 уточняется настройка шкал 10.

Записывающее устройство 14 настраивается на запись диаграммы.

Испытание образца будет осуществляться по одной из шкал 10, поэтому следует проверить соответствие груза на маятнике для нее.

Для проверки закона Гука образец необходимо загрузить начальным скручивающим моментом величиной $M_{к0} = 5 \text{ Н}\cdot\text{м}$, чтобы исключить погрешность из-за возможных люфтов в захватах; затем увеличивать момент равными ступенями $\Delta M_k = 5 \text{ Н}\cdot\text{м}$ и измерять при этом соответствующие углы закручивания, записывая показания индикатора при начальном моменте обжатия и после нагружения образца каждой последующей ступенью. Результаты испытаний заносятся в таблицу. Нагружение образца при испытании его в пределах упругости осуществляется с помощью ручного привода 8. Нагружать образец следует до крутящего момента не более $35 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Этому моменту будут соответствовать максимальные касательные напряжения величиной около 100 МПа .

Результаты нагружения в пределах соблюдения закона Гука изображаются на диаграмме, представленной на рис. 28.

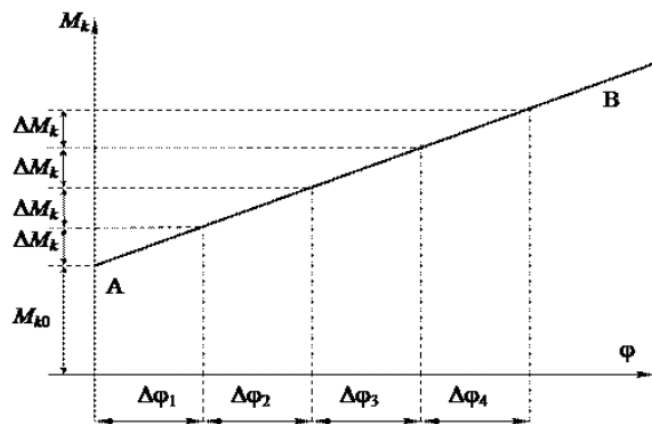


Рис. 28. Диаграмма нагружения образца в пределах соблюдения закона Гука.

Экспериментальные точки 1, 2, 3 ... N на диаграмме нагружения будут располагаться приблизительно на одной прямой, поскольку экспериментально определенные приращения углов закручивания $\Delta\varphi_i$ могут незначительно отличаться друг от друга. Прямая АВ, характеризующая линейную зависимость между крутящим моментом и углом закручивания, будет подтверждать закон Гука.

После того, как убедились в соответствии результатов испытаний закону Гука, снимаем с образца индикаторное устройство.

Настраиваем контрольную стрелку 12 силоизмерителя (зацепляем с рабочей стрелкой 11).

Настраиваем устройство 15 для замера пластического угла закручивания.

Включаем мотор нажатием кнопки «пуск» и доводим образец до разрушения.

После разрушения образца выключаем мотор нажатием кнопки «стоп» и записываем крутящий момент, при котором разрушился образец – $M_{кразр} (T_D)$. Этот же момент может быть получен по диаграмме.

Оформляем отчет по предлагаемой форме.

Отчет по лабораторной работе № 4

Цель работы: _____

I. Исходные данные.

1. Вид образца (рис. 29):

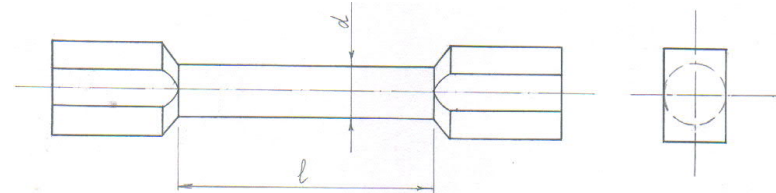


Рис. 29. Схема образца для испытания на кручение в двух проекциях.

2. Диаметр образца: $d =$

3. Рабочая длина образца: $l =$

4. Полярный момент инерции сечения образца:

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

5. Полярный момент сопротивления сечения образца:

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

6. Материал образца:

II. Результаты испытаний

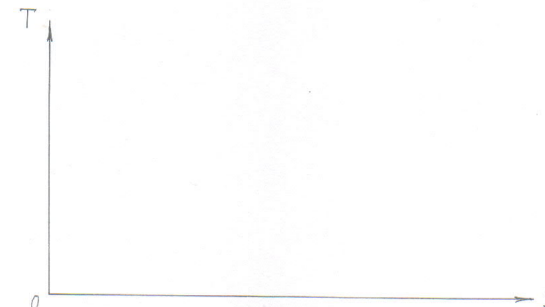
1.1. Таблица результатов опыта при нагружении образца до разрушения:

φ , град.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	90	180	270	360	540	720	900
T , кг·см																	

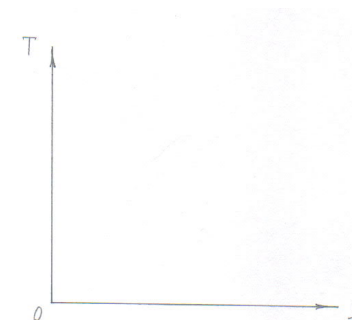
1.2. Таблица наблюдений при нагружении образца в пределах соблюдения закона Гука:

Крутящий момент $M_k (T), H \cdot м$	Отсчеты на индикаторе, n делений	Приращение показаний, Δn делений	Приращение угла закручивания $\Delta \varphi = \frac{\Delta n \cdot K}{R}$
$M_{k0} = T_0 =$	$n_0 =$	-	-
$M_{k1} = T_1 =$	$n_1 =$	$\Delta n_1 =$	$\Delta \varphi_1 =$
$M_{k2} = T_2 =$	$n_2 =$	$\Delta n_2 =$	$\Delta \varphi_2 =$
$M_{k3} = T_3 =$	$n_3 =$	$\Delta n_3 =$	$\Delta \varphi_3 =$
$M_{k4} = T_3 =$	$n_4 =$	$\Delta n_4 =$	$\Delta \varphi_4 =$
$M_{k5} = T_3 =$	$n_5 =$	$\Delta n_5 =$	$\Delta \varphi_5 =$
-	-	-	$\Delta \varphi_{cp} =$

2.1. Диаграмма кручения при испытании образца до стадии разрушения:



2.2. Участок OA диаграммы кручения (в пределах которого соблюдается закон Гука):



III. Результаты расчетов

1. Угол, соответствующий пределу пропорциональности:

$$\varphi_A =$$

2. Момент, соответствующий пределу пропорциональности:

$$T_A = T_{pr} =$$

3. Полный угол закручивания образца:

$$\varphi_D =$$

4. Разрушающий крутящий момент:

$$T_D =$$

5. Предел пропорциональности:

$$\tau_{pr} = \frac{T_A}{W_p} =$$

6. Предел прочности:

$$\tau_s = \tau_u = \frac{T_D}{W_p} =$$

7. Модуль упругости при сдвиге:

$$G = \frac{T_A \cdot l \cdot 180}{\pi \cdot \varphi_A \cdot J_p} =$$

Контрольные вопросы

1. Какие допущения принимаются при построении теории кручения бруса круглого поперечного сечения?
2. Чем обоснованы допущения, на которых строится теория кручения валов круглого поперечного сечения?
3. По какому закону изменяются касательные напряжения при кручении вала круглого сечения?
4. Запишите формулы для вычисления полярного момента инерции и полярного момента сопротивления для вала круглого сечения.
5. Приведите формулы для вычисления касательных напряжений и углов закручивания при кручении вала круглого сечения.
6. Запишите условие прочности и условие жесткости при кручении.
7. Что такое жесткость при кручении?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Испытание винтовой цилиндрической пружины

Цель лабораторной работы:

Сравнение осадок пружины, полученных теоретически и экспериментально, при ее растяжении и сжатии.

Общие сведения

В поперечных сечениях проволоки, из которой свита пружина, действуют несколько внутренних усилий, каждое из которых оказывает существенное влияние на прочность. Таким образом, проволока пружины испытывает сложное сопротивление. Цилиндрические винтовые пружины с малым шагом имеют углы наклона витков, не превышающие 8-10°. Ввиду малости этих углов при расчетах таких пружин на прочность и жесткость считают, что витки лежат в плоскости, перпендикулярной к оси пружины. Кроме того, при определении удлинения или укорочения пружины, называемого осадкой, винтовую проволоку рассматривают в виде прямого стержня, испытывающего только кручение, а влиянием продольных, изгибных, сдвиговых деформаций и кривизной витков пренебрегают. С учетом этих упрощений формула для определения удлинений или укорочений цилиндрической пружины, изготовленной из прутка круглого поперечного сечения (рис. 30а), имеет вид:

$$\lambda = \frac{8 \cdot F \cdot n \cdot D^3}{G \cdot d^4}, \quad (1)$$

где λ – изменение длины пружины (ее участка) вдоль оси; F (или P) – сила, приложенная вдоль оси пружины; D – диаметр винтовой оси пружины; d – диаметр проволоки пружины; n – число витков пружины в пределах расчетной длины; G – модуль упругости материала пружины при сдвиге.

Эта формула справедлива в пределах упругих деформаций. Из нее следует, что между удлинением (укорочением) λ пружины и нагрузкой F (или P) имеется линейная зависимость (рис. 30б).

Величина силы F , необходимой для единичного удлинения пружины, называется ее жесткостью. Полагая в формуле (1) $\lambda = 1$ и обозначая жесткость пружины через c , найдем:

$$c = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot n \cdot D^3}. \quad (2)$$

Как видно из формулы (2), размерность жесткости равна размерности силы, поделенной на длину (Н/м, кг/см и т. п.).

В поперечных сечениях прутка, из которого свита цилиндрическая винтовая пружина с малым шагом витков, возникает два вида касательных напряжений. Один вид касательных напряжений τ_F связан с поперечной силой F , а другой вид τ_K – с крутящим моментом M_K . При этом касательные напряжения τ_F распределены по круглому сечению проволоки равномерно и их величина равна: $\tau_F = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d^2}$.

А касательные напряжения τ_K распределены по сечению неравномерно, причем наибольшие напряжения возникают на контуре витка и их величина равна: $\tau_K^{max} = \frac{8 \cdot F \cdot D}{\pi \cdot d^3}$. Наиболее нагруженными являются точки сечений, расположенные на внутренних поверхностях витков. Касательные напряжения в этих точках равны сумме напряжений τ_F и τ_K^{max} :

$$\tau_{max} = \tau_F + \tau_K^{max} = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d^2} + \frac{8 \cdot F \cdot D}{\pi \cdot d^3} = \frac{8 \cdot F \cdot D}{\pi \cdot d^3} \left(1 + \frac{d}{2 \cdot D}\right). \quad (3)$$

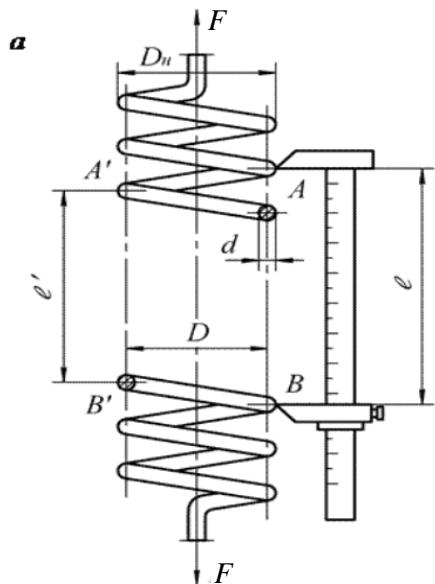
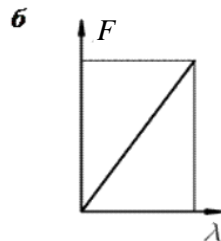


Рис. 30.
Цилиндрическая винтовая пружина с малым шагом витков (а) и диаграмма растяжения-сжатия пружины в пределах соблюдения закона Гука (б).



В реальных пружинах обычно второе слагаемое в скобках формулы (3) мало по сравнению с единицей, и им можно пренебречь. Таким образом, главным внутренним силовым фактором при определении расчетных напряжений в пружине является крутящий момент, а вклад поперечной силы является несущественным.

Порядок проведения испытаний

В данной работе проводятся два опыта: на растяжение и на сжатие пружины. Нагружение пружины осуществляется с помощью подвешивания грузов.

1. Замеряется диаметр сечения проволоки пружины d штангенциркулем с точностью до 0,1 мм. Измерительный инструмент устанавливается перпендикулярно к оси витка пружины, чтобы исключить погрешность в определении диаметра проволоки, вызванную кривизной витка. Замеры сделать не менее трех раз и в расчет принять среднеарифметическое значение.

2. Определяется средний диаметр пружины D , который может быть найден как разность между наружным диаметром D_n и диаметром витка пружины d .

3. Подсчитывается число витков n .

4. Подвешивается груз F .

5. Определяется максимальное касательное напряжение в поперечном сечении проволоки пружины при данной нагрузке F по формуле:

$$\tau = \frac{8 \cdot F \cdot D}{\pi \cdot d^3} \left(1 + \frac{d}{2 \cdot D}\right).$$

6. Вычисляется удлинение (укорочение) пружины λ по формуле (1) при нагрузке F , указанной преподавателем.

7. При этой нагрузке определить экспериментальное значение удлинения (укорочения) пружины.

8. Сравнить теоретическую и опытную величину удлинения и укорочения пружины:

$$\Delta = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda} \cdot 100 \ %.$$

9. Оформить отчет по прилагаемой форме.

Отчет по лабораторной работе № 5

Цель работы: _____

Опыт № 1. Растяжение пружины

1. Схема приспособления (рис. 31):

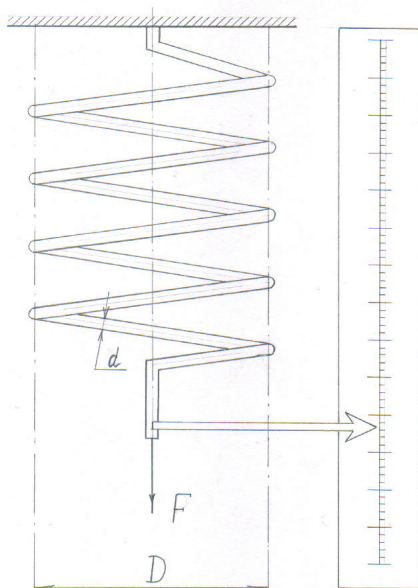


Рис. 31. Схема пружины испытываемой на растяжение

2. Исходные данные:

а) диаметр винтовой оси пружины: $D =$

б) диаметр прутка пружины: $d =$

в) число витков пружины: $n =$

г) нагрузка: $F =$

3. Результаты исследований:

а) напряжения в пружине (теоретически):

$$\tau = \frac{8 \cdot F \cdot D}{\pi \cdot d^3} \left(1 + \frac{d}{2 \cdot D} \right) =$$

б) осадка пружины (теоретически):

$$\lambda = \frac{8 \cdot F \cdot n \cdot D^3}{G \cdot d^4} =$$

в) осадка пружины (экспериментально):

$$\lambda_0 =$$

г) ошибка опыта:

$$\Delta = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda} \cdot 100 \% =$$

Опыт № 2. Сжатие пружины.

1. Схема приспособления (рис. 32):

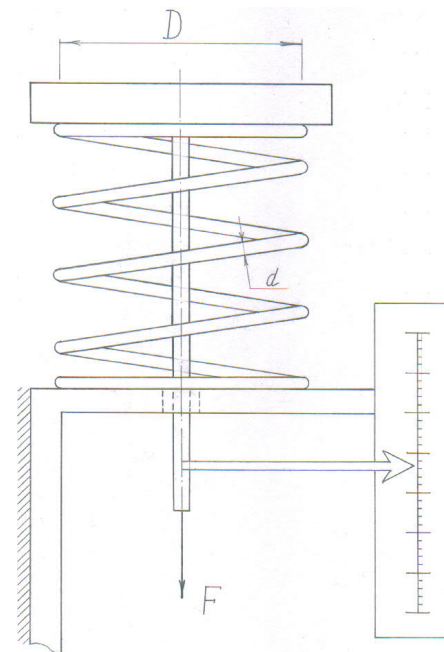


Рис. 32. Схема пружины испытываемой на сжатие

2. Исходные данные:

а) диаметр винтовой оси пружины: $D =$

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Определение напряжений и деформаций консольной балки прямоугольного сечения

Цель лабораторной работы:

Определение экспериментальным путем значений максимального напряжения, прогиба и угла поворота произвольных сечений консольно закрепленной балки и сравнение их с результатами теоретических расчетов.

Общие сведения

Плоский изгиб прямого стержня происходит, когда к нему приложены в плоскости симметрии силы или пары сил, перпендикулярные к его оси. Стержень, работающий на изгиб, называется балкой. При изгибе ось стержня искривляется, а в его поперечных сечениях возникает два вида внутренних усилий: поперечная (перерезывающая) сила Q и изгибающий момент M . Поперечная сила и изгибающий момент определяются через внешние силы, приложенные к балке.

Перерезывающая сила Q в любом поперечном сечении балки равна сумме проекций на нормаль к оси балки всех внешних сил, расположенных по одну сторону (левую или правую) от сечения. Поперечная сила в данном сечении положительна, если равнодействующая внешних сил, приложенных к левой отсеченной части балки направлена вверх. В том случае, когда равнодействующая внешних сил, приложенных к правой части балки, направлена вниз, поперечная сила также положительна.

Изгибающий момент M в произвольном сечении балки равен алгебраической сумме моментов всех внешних сил, расположенных по одну сторону от сечения относительно центра тяжести этого сечения. Изгибающий момент в данном сечении положителен, если равнодействующий момент всех внешних сил, приложенных к левой части балки относительно этого сечения направлен по часовой стрелке. Изгибающий момент также положителен, если равнодействующий момент всех внешних сил приложенных к правой части балки направлен против часовой стрелки.

Для определения наибольшей поперечной силы и максимального изгибающего момента строят эпюры поперечных сил Q и изгибаю-

б) диаметр прутка пружины: $d =$

в) число витков пружины: $n =$

г) нагрузка: $F =$

3. Результаты исследований:

а) напряжения в пружине (теоретически):

$$\tau = \frac{8 \cdot F \cdot D}{\pi \cdot d^3} \left(1 + \frac{d}{2 \cdot D} \right) =$$

б) осадка пружины (теоретически):

$$\lambda = \frac{8 \cdot F \cdot n \cdot D^3}{G \cdot d^4} =$$

в) осадка пружины (экспериментально):

$$\lambda_0 =$$

г) ошибка опыта:

$$\Delta = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda} \cdot 100 \% =$$

Для опытов № 1 и № 2 модуль упругости при сдвиге принимаем равным: $G = 8 \cdot 10^5 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} = 8 \cdot 10^4 \text{ МПа}$.

Контрольные вопросы

1. Какой вид сопротивления испытывает витая цилиндрическая пружина?
2. Какой внутренний силовой фактор является главным при определении расчетного касательного напряжения?
3. Что понимают под осадкой пружины?
4. Что такое жесткость пружины?
5. В каких точках цилиндрической винтовой пружины возникают наибольшие касательные напряжения? Как подсчитать осадку и жесткость такой пружины?
6. Возможно ли использовать формулу осадки пружины для опытного определения модуля сдвига?

щих моментов M . Эпюры – это графики изменения внутренних силовых факторов вдоль длины балки.

Нейтральный слой балки – это совокупность волокон, не изменяющих своей длины при изгибе. Линия пересечения нейтрального слоя с поперечным сечением называется нейтральной осью.

Рассматривая деформации, возникающие при плоском изгибе балки, можно отметить следующее. Перемещение центра тяжести сечения по направлению, перпендикулярному к оси балки, называется прогибом балки в этом сечении или прогибом этого сечения балки z (рис. 33а). Угол Θ , на который каждое сечение поворачивается по отношению к своему первоначальному положению, называется углом поворота сечения (рис. 33б).

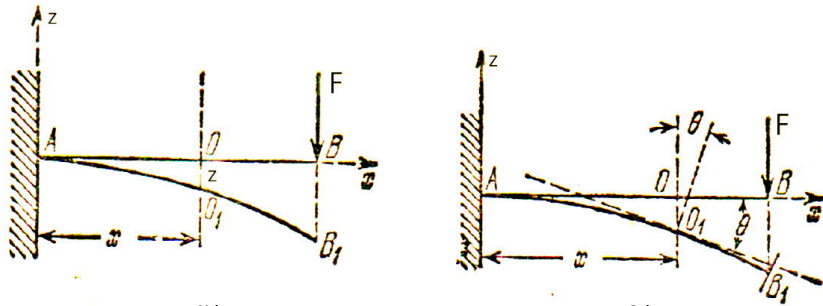


Рис. 33. Деформации балки при плоском изгибе: a – прогиб сечения z ; b – угол поворота сечения Θ .

Приближенное дифференциальное уравнение изогнутой оси балки имеет вид:

$$\frac{d^2 z}{dx^2} = \frac{M(x)}{E \cdot J_y}, \quad (4)$$

где $M(x) = f(F, x)$ – текущее значение изгибающего момента, являющееся функцией нагрузки и координаты x сечения балки; E – модуль упругости первого рода (модуль Юнга) материала балки; J_y – осевой момент инерции поперечного сечения балки относительно оси, перпендикулярной к плоскости нагружения; для поперечного сечения прямоугольной формы (рис. 36 б) осевой момент инерции

определяется формулой: $J_y = \frac{b \cdot h^3}{12}$.

Интегрируя уравнение изогнутой оси балки один раз, получим формулу углов поворота. Интегрируя уравнение изогнутой оси два раза, получим уравнение прогибов. Так как уравнение (4) справедливо только на отдельных участках балки, то при его интегрировании необходимо учитывать возможность действия различных нагрузок на разных отрезках балки (рис. 34). Учитывая, что при многих участках загрузки может быть несколько сосредоточенных моментов M , несколько сосредоточенных сил F , а также несколько распределенных нагрузок q , можно записать уравнения углов поворота z' и прогибов z в наиболее общем виде:

$$E \cdot J_y \cdot z' = E \cdot J \cdot \Theta_0 + \sum M \cdot (x - a) + \sum F \cdot \frac{(x - a)^2}{2} + \sum q \cdot \frac{(x - a)^3}{6},$$

$$E \cdot J_y \cdot z = E \cdot J \cdot z_0 + E \cdot J \cdot \Theta_0 \cdot x + \sum M \cdot \frac{(x - a)^2}{2} + \sum F \cdot \frac{(x - a)^3}{6} + \sum q \cdot \frac{(x - a)^4}{24},$$

где Θ_0 – угол поворота сечения балки в начале координат; z_0 – прогиб в том же месте; x – абсцисса текущего сечения рассматриваемого участка; a – абсцисса начала этого участка.

Последние два уравнения называются общими уравнениями метода начальных параметров.

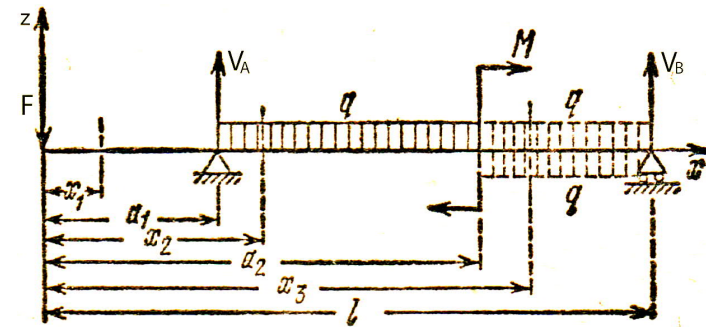


Рис. 34. Балка с несколькими участками загрузки

Нормальные напряжения, возникающие в любой точке поперечного сечения балки, определяются по формуле:

$$\sigma = \frac{M \cdot z}{J},$$

где M – изгибающий момент в данном сечении, z – расстояние точки от нейтральной оси (нейтрального слоя), J – момент инерции сечения относительно нейтральной оси.

Характер распределения нормальных напряжений по высоте сечения показан на рис. 35. На нейтральной оси при $z = 0$ и $\sigma = 0$. Выше нейтрального слоя нормальные напряжения являются сжимающими ($\sigma < 0$), а ниже нейтрального слоя – растягивающими ($\sigma > 0$). Максимального значения напряжения достигают у верхнего и нижнего краев сечения при $z = z_{max}$.

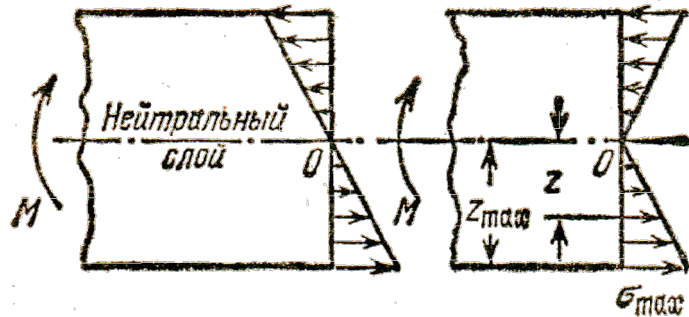


Рис. 35. Распределение нормальных напряжений по высоте сечения.

Наибольшие напряжения в поперечном сечении определяются по формуле:

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W},$$

где $W = \frac{J}{z_{max}}$ – осевой момент сопротивления сечения.

Порядок проведения испытаний

В работе испытанию на изгиб в пределах упругих деформаций подвергается консольная балка, изображенная на рис. 36а.

1. Измеряем размеры поперечного сечения балки b и h (рис. 36б) и вычисляем значение момента инерции поперечного сечения относительно нейтральной оси y :

$$J_y = \frac{b \cdot h^3}{12}.$$

2. Вычисляем осевой момент сопротивления сечения балки:

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6}.$$

3. Определяем координаты: l_3 – места приложения нагрузки F ; m – места установки индикатора (микрометра) 1 для определения угла поворота сечения M ; l_2 – места установки на верхней поверхности балки продольного тензометра (сечение D) для определения относительной продольной деформации ε ; l_1 – места установки индикатора (микрометра) 2 для определения прогиба сечения C .

4. Определяем для балки теоретические расчетные значения:

– угла поворота сечения M (методом начальных параметров, рис. 36а)

$$Z_M = \theta_M = \frac{-M_A \cdot m + R_A \cdot \frac{p^2}{2}}{EJ_y}$$

где значение модуля Юнга E для материала балки равно $2 \cdot 10^5$ МПа;

– прогиба сечения C (методом Верещагина, рис. 37)

$$Z_C = f_C = \frac{\omega \cdot M_0^{int}}{E \cdot J_y},$$

где $\omega = \frac{1}{2} \cdot l_3 \cdot F \cdot l_3$ – площадь эпюры изгибающих моментов от действия заданной силы F (грузовой эпюры \mathcal{M}_x); M_0^{int} – ордината эпюры изгибающих моментов от действия единичной силы F_0 (приложенной в точке C), расположенная под центром тяжести грузовой эпюры;

– нормального напряжения у верхнего края сечения D

$$\sigma_D = \frac{M_{x(D)}}{W_y},$$

где $M_{x(D)}$ – изгибающий момент в сечении D .

5. На поверхности балки над сечением D наклеиваем электротензометр.

6. Устанавливаем подвижные шкалы индикаторов (микрометров) так, чтобы стрелки совпали с началом отсчета «0».

7. Нагружаем балку с помощью подвешивания груза F и записываем показания индикаторов. Значение прогиба сечения C определяется непосредственно разностью показаний индикатора 2 (цена деления 0,01 мм). Значение же угла поворота сечения M определяется делением разности показаний индикатора 1 (умноженной на цену деления) на длину штанги (стойки) $L = 30$ см:

$$\theta_M^{\text{оп}} = \frac{\Delta}{L}.$$

8. Используя электротензометрический метод, измеряем относительную продольную деформацию образца:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \Delta n \cdot k_e,$$

где Δl – абсолютное удлинение образца на отрезке длиной l ; l – база тензометра; Δn – разность показаний тензометра; k_e – цена деления прибора.

9. Определяем максимальное нормальное напряжение в сечении D :

$$\sigma_D^{\text{оп}} = E \cdot \varepsilon.$$

10. Оформляем отчет по прилагаемой форме.

Отчет по лабораторной работе № 6

Цель работы: _____

I. Схема установки СМ 16 (рис. 36):

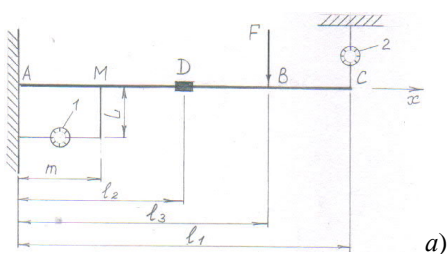
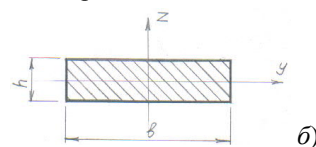


Рис. 36. Схема установки СМ 16:
а – консольная балка, нагруженная силой F ;
б – поперечное сечение балки.



II. Исходные данные:

1. Длина балки: $l_1 =$
2. Ширина балки: $b =$
3. Толщина балки: $h =$
4. Материал балки – Сталь 3
5. Длина штанги: $L = 30$ см
6. Расстояние от защемления до тензодатчика D : $l_2 =$
7. Расстояние от защемления до крепления штанги: $AM = 10$ см
8. Расстояние от защемления до точки приложения силы F : $l_3 = 55$ см
9. Осевой момент инерции сечения балки: $J_y = \frac{b \cdot h^3}{12} =$
10. Осевой момент сопротивления сечения балки: $W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} =$
11. Величина нагрузки: $F =$

III. Результаты теоретических исследований

1. Строим эпюру изгибающих моментов (\mathcal{M}_x) и определяем максимальное напряжение в сечении D :

$$\sigma_D = \frac{M_x(D)}{W_y} =$$

2. Определяем угол поворота u_M в сечении балки M (любым способом), например, используя метод начальных параметров:

$$Z_M' = \theta_M = \frac{-M_A \cdot m + R_A \cdot \frac{p^2}{2}}{EJ_y},$$

где $M_A = F \cdot l_3 =$

– реактивный момент на опоре A ;

$R_A = F =$

– реакция опоры A ;

$m = p = 10$ см.

3. Определяем прогиб свободного конца балки C (любым способом), например, применяя способ Верещагина (рис. 37):

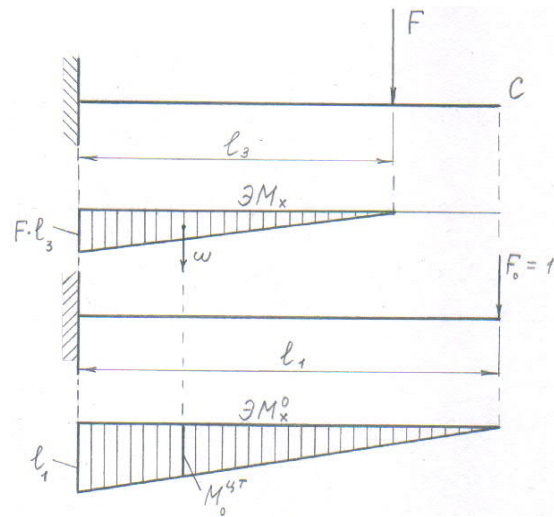


Рис. 37. Грузовая $\mathcal{E}M_x$ и единичная $\mathcal{E}M_x^0$ эпюры изгибающих моментов при определении прогиба сечения C от действия силы F .

$$Z_C = f_C = \frac{\omega \cdot M_0^{0\text{тт}}}{E \cdot J_y},$$

$$\text{где } \omega = \frac{1}{2} \cdot l_3 \cdot F \cdot l_3 =$$

ω – площадь эпюры изгибающих моментов от действия заданной силы F (грузовой эпюры $\mathcal{E}M_x$); $M_0^{0\text{тт}}$ – ордината эпюры изгибающих моментов от действия единичной силы F_0 (приложенной в точке C), расположенная под центром тяжести грузовой эпюры.

IV. Результаты испытаний

1. Максимальное нормальное напряжение в сечении D :

$$\sigma_D^{\text{оп}} = E \cdot \varepsilon = E \cdot k \cdot s = k_1 \cdot s =$$

где s – отклонение «зайчика» осциллографа;

$k_1 = E \cdot k =$ – коэффициент перевода механической деформации в электрические величины, учитывающие сопротивление тензодатчика, усиление сигнала, характеристику гальванометра.

2. Угол поворота сечения M в радианах:

$$\text{tg } \theta_M^{\text{оп}} = \theta_M^{\text{оп}} = \frac{\Delta}{L} =$$

где $\Delta =$ – показания микрометра 1.

3. Прогиб свободного конца балки:

$$Z_C^{\text{оп}} = f_C^{\text{оп}},$$

где $Z_C^{\text{оп}}$ – показания микрометра 2.

V. Расхождение между экспериментальными и теоретическими результатами.

1. Ошибка при определении напряжения в сечении D :

$$\Delta \sigma_D = [(\sigma_D - \sigma_D^{\text{оп}}) / \sigma_D] \cdot 100 \% =$$

2. Ошибка при определении угла поворота сечения M :

$$\Delta \theta_M = [(\theta_M - \theta_M^{\text{оп}}) / \theta_M] \cdot 100 \% =$$

3. Ошибка при определении прогиба свободного конца (сечения C):

$$\Delta f_C = [(f_C - f_C^{\text{оп}}) / f_C] \cdot 100 \% =$$

Контрольные вопросы

1. Когда возникает поперечный (плоский) изгиб стержня?
2. Какие внутренние усилия возникают в поперечном сечении балки при плоском изгибе?
3. Как определяются перерезывающие силы и изгибающие моменты в поперечных сечениях балки?
4. Для чего строятся эпюры внутренних усилий?
5. Что такое нейтральная ось в сечении балки? Сколько таких осей?
6. Запишите формулу для определения нормальных напряжений при изгибе.

7. Назовите точки, в которых нормальные напряжения максимальны. В каких точках они равны нулю?

8. Запишите приближенное дифференциальное уравнение изогнутой оси балки.

9. В чем заключается способ Верещагина при определении перемещений в балках?

ЛИТЕРАТУРА

а) Основная

1. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. Стереотипное издание М.: Альянс, 2014. – 608 с.

б) Дополнительная

2. Беляев Н.М. Лабораторные работы по сопротивлению материалов. М., 1956. – 288 с.

3. Дзодцоев Г.И., Плиев С.Х. Сопротивление материалов. Краткий курс лекций для студентов инженерных факультетов аграрных ВУЗов. – Владикавказ, 2010. – 120 с.

4. Рубашкин А.Г., Чернилевский Д.В. Лабораторно-практические работы по технической механике. М., 1975. – 254 с.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	3
Лабораторная работа № 1. Испытание малоуглеродистой стали на растяжение	5
Лабораторная работа № 2. Испытание различных материалов на сжатие	17
Лабораторная работа № 3. Испытание металлических образцов на сдвиг	26
Лабораторная работа № 4. Испытание стального образца на кручение	35
Лабораторная работа № 5. Испытание винтовой цилиндрической пружины	45
Лабораторная работа № 6. Определение напряжений и деформаций консольной балки прямоугольного сечения	51
Литература	61

Я

Лицензия: ЛР. № 020574 от 6 мая 1998 г.

Подписано в печать 14.06.2018 г. Бумага офсетная. Печать трафаретная. Бумага 60x84 1/16.
Усл. печ. л. 4. Тираж 75. Заказ 43.

362040, Владикавказ, ул. Кирова, 37.
Типография ФГБОУ ВО «Горский госагроуниверситет»

Я

БАСКАЕВ А.Н.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ
по сопротивлению материалов

(направления подготовки: 35.03.06 «Агроинженерия»;
23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических
машин и комплексов»; 13.03.01 «Теплоэнергетика
и теплотехника»)

уровень высшего образования - бакалавр

Я