

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ДГТУ)

КАФЕДРА «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА»

МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
ДЕФОРМИРОВАНИЯ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Ростов-на-Дону
2022

УДК 539.3
М

Рецензент:

кандидат физико-математических наук, доцент *А.С. Скалчих*

Лесняк, Ольга Николаевна

М **Механика материалов и конструкций. Экспериментальное исследование процессов деформирования: учебное пособие // О.Н. Лесняк; Донской государственный технический университет. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2022. – 41 с.**

ISBN

Изложен необходимый теоретический материал по дисциплине «Механика материалов и конструкций». Содержит основные положения теории, описание испытательных установок, методику и указания к выполнению лабораторных работ, образец формы отчета по лабораторным работам.

Предназначено обучающимся очной формы обучения при изучении дисциплин «Механика», «Прикладная механика», «Техническая механика», «Сопротивление материалов».

Может быть рекомендовано обучающимся всех направлений подготовки, в том числе по направлениям подготовки 15.03.03 Прикладная механика профиль «Программные системы компьютерного инжиниринга», 15.04.03 Прикладная механика программа «Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг», 01.06.01 Математика и механика профиль «Механика деформируемого твердого тела».

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Донского государственного технического университета

Научный редактор

кандидат физико-математических наук, доцент *А.А. Матросов*

© Лесняк О.Н., 2022

© Донской государственный
технический университет, 2022

Предисловие

Учебная дисциплина «Механика материалов и конструкций» занимает одно из центральных мест среди общеинженерных дисциплин при подготовке инженеров широкого профиля и среди специальных дисциплин при подготовке инженеров-расчетчиков.

Изучение данного предмета основывается на:

- знании теории. Изучению теоретического материала посвящено огромное количество учебников и пособий, различающихся как рассматриваемыми в них вопросами, так и строгостью изложения [1-3];
- умении решать задачи [4, 5]. Получение навыков решения задач является очень важной составляющей процесса изучения дисциплины;
- владении лабораторными методами экспериментального определения механических характеристик различных материалов, исследования прочности и жесткости элементов конструкций [6-10].

Данное пособие целиком посвящено последнему разделу – важному способу получения информации о механических свойствах материалов и конструкций. В пособии приведено большое количество рисунков и примеров для облегчения освоения излагаемого материала. Также содержатся контрольные вопросы для самопроверки усвоения материала.

Представленный материал может быть рекомендован обучающимся всех форм и направлений подготовки при изучении дисциплин «Механика», «Прикладная механика», «Техническая механика», «Сопротивление материалов». В то же время данное учебное пособие в первую очередь предназначено обучающимся по направлениям подготовки: 15.03.03 Прикладная механика профиль «Программные системы компьютерного инжиниринга»; 15.04.03 Прикладная механика программа «Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг»; 01.06.01 Математика и механика профиль «Механика деформируемого твердого тела».

Введение

Инженеру любой специальности в своей повседневной работе часто приходится изучать устройства и принципы механизмов, производить расчеты на прочность (и/или жесткость), устойчивость, выносливость конструкций. Неправильный расчет может привести к самым тяжелым последствиям, в том числе и к травмам работников на производстве. Поэтому очень важно в процессе подготовки высококвалифицированных кадров по образовательным программам высшего образования использовать комплексный подход к изучению студентами дисциплин, включающий теоретические, практические и лабораторные занятия.

Целями настоящего учебного пособия являются:

- **привить** навыки по экспериментальному определению механических характеристик различных материалов;
- **ознакомить** с методами исследования прочности и жесткости элементов конструкций с использованием стандартного лабораторного оборудования;
- **научить** пользоваться аппаратурой для измерения деформаций и напряжений;
- **познакомить** с методами обработки и представления результатов измерений.

Приведенные темы лабораторных работ из-за ограниченного объема учебных часов, включают лишь основные работы, выполняемые на установках лаборатории механических испытаний кафедры «Теоретическая и прикладная механика» Донского государственного технического университета.

Перед тем как приступить к выполнению заданной лабораторной работы, студент должен:

- **усвоить** краткие теоретические сведения по теме предстоящей работы;
- **изучить** принцип работы и устройство испытательной машины или установки, приборов для измерения напряжений и деформаций;
- **усвоить** методику выполнения работы и способы обработки экспериментальных данных;
- **пройти** инструктаж по технике безопасности.

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

К выполнению лабораторных работ студенты допускаются только после инструктажа по технике безопасности, противопожарным мерам. Проведение инструктажа оформляется проставлением росписи в специальном журнале.

Все механические испытания материалов проводятся учебно-вспомогательным персоналом на испытательных машинах. Студенты самостоятельно выполняют работы только на специальных лабораторных установках под руководством преподавателя.

Студентам категорически запрещается без разрешения преподавателя включать лабораторное оборудование в электросеть и изменять режим его работы.

Все измерения образцов, необходимые для выполнения лабораторных испытаний, проводятся до установки их в захваты испытательных машин, а размеры после испытания можно производить только после снятия образцов с машины. Для визуального осмотра результатов испытаний можно подходить к машине только с разрешения преподавателя. При использовании сменных грузов не следует складывать их на краю стола во избежание падения и возможного травмирования ими окружающих.

При нарушении требований техники безопасности студент немедленно отстраняется от дальнейшего выполнения лабораторной работы. Если действия студента не привели к серьезным последствиям, то он может быть вновь допущен к лабораторным занятиям лишь после повторного инструктажа.

1. Лабораторная работа № 1 «Испытание на разрыв стального образца»

Цель работы: изучение процесса деформирования при растяжении образца из малоуглеродистой стали, определение основных механических характеристик прочности, пластичности и марки стали.

Теоретическая часть работы.

Механическими характеристиками материала являются: предел пропорциональности, предел упругости, предел текучести, предел прочности материала. Они определяются как частное от деления соответствующей нагрузки (полученной экспериментальным путем) на первоначальную (до испытания) площадь поперечного сечения. В результате этого получают *условные напряжения*. Для вычисления *истинных напряжений* необходимо нагрузку разделить на действительную площадь поперечного сечения, изменяющуюся в процессе эксперимента. Определив истинные напряжения, можно построить истинную диаграмму растяжения материала, которая дает более точные данные о свойствах материала, чем условная диаграмма. Необходимо иметь в виду, что закон Гука, как и формулы на его основе, справедлив только до предела пропорциональности.

Одним из основных видов испытаний при определении механических характеристик конструкционных материалов, выпускаемых промышленностью, являются испытания на растяжение. Результаты испытаний позволяют судить о прочности материалов при статических нагрузках, выбирать материал для проектируемой конструкции и использовать его характеристики при расчетах на прочность деталей машин и элементов конструкций.

Диаграмма растяжения малоуглеродистой стали.

На специальных испытательных машинах получают автоматически диаграмму растяжения стандартного образца в координатах: нагрузка F – удлинение Δl . На этой диаграмме можно выделить несколько характерных участков (рис. 1.1).

Небольшой криволинейный начальный участок O_1A является результатом обжатия головок образца в захватах и устранения зазоров в узлах машины. Его исключают, аппроксимируя (удлиняя) участок AB до пересечения с осью абсцисс, и получают начало координат – точку O .

Участок OB называют зоной упругости. Здесь материал подчиняется закону Гука: удлинение прямо пропорционально нагрузке до некоторой силы $F_{\text{пл}}$ (точка B). После снятия нагрузки деформация $\Delta l = OB$ исчезает. Деформацию, которая полностью исчезает после снятия нагрузки, называют *упругой деформацией*.

При увеличении нагрузки до F_y (участок BC) начинается отклонение диаграммы от прямой линии, а после разгрузки появляются остаточные

деформации (F_y фиксируют при появлении остаточных деформаций $\varepsilon = 0,001 \pm 0,005\%$).

Участок CD называют зоной общей текучести, а горизонтальную его часть – *площадкой текучести*. Здесь без заметного увеличения нагрузки F_T происходит существенное удлинение образца. Такой процесс деформации, называемый *текучестью материала*, он сопровождается *остаточными* (пластическими) деформациями, не исчезающими после разгрузки образца.

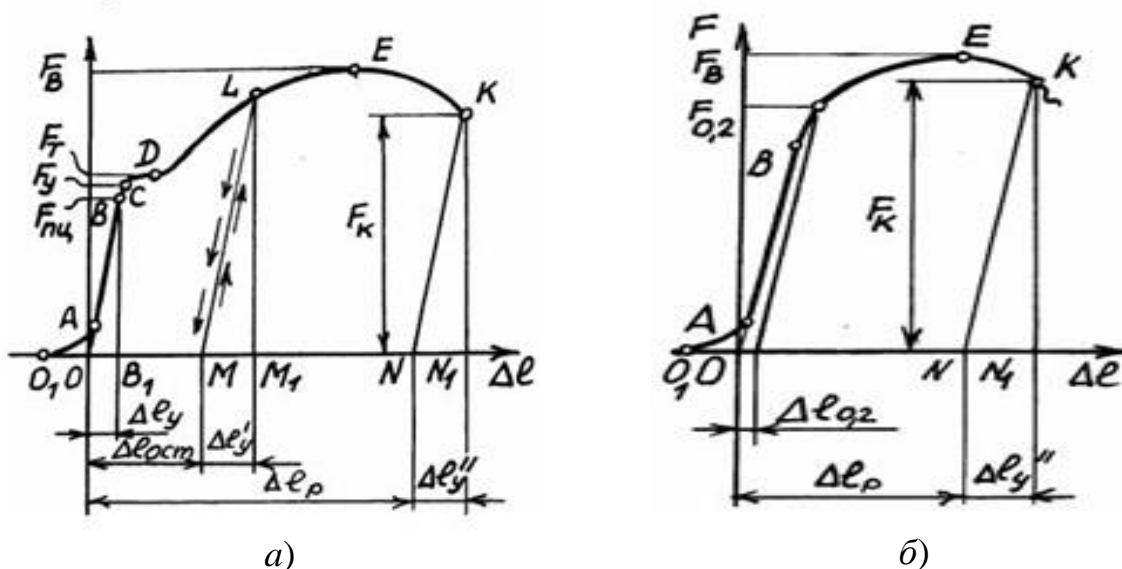


Рис. 1.1. Диаграмма растяжения стали: а) малоуглеродистая сталь, б) высокоуглеродистая сталь

При увеличении нагрузки до F_y (участок BC) начинается отклонение диаграммы от прямой, а после разгрузки появляются остаточные деформации (F_y фиксируют при появлении остаточных деформаций $\varepsilon = 0,001-0,005\%$).

Участок CD называют зоной *общей текучести*, а горизонтальную его часть – *площадкой текучести*. Здесь без заметного увеличения нагрузки F_T происходит существенное удлинение образца. Такой процесс деформации, называемый *текучестью материала*, он сопровождается *остаточными* (пластическими) деформациями, не исчезающими после разгрузки образца.

Участок DE называют зоной *упрочнения*, т.к. материал вновь способен сопротивляться растяжению с повышением нагрузки до величины F_B (точка E). Затем на участке EK на образце появляется местное сужение – *шейка*. Участок EK называют зоной *местной текучести*, т.к. здесь удлинение образца происходит за счет деформации в зоне шейки вплоть до момента разрыва образца в точке K . Деформация $\Delta l_y'' = NN_1$ при этом исчезает и образец получает *полную остаточную деформацию* после разрыва $\Delta l_p = ON$.

Основные механические характеристики материала.

Важно отметить, что диаграмма, показанная на рис. 1.1, характеризует свойства не материала, а образца, т.к. при испытании нескольких образцов различных размеров, сделанных из одного и того же материала, получаются

различные подобные по форме диаграммы. Для получения данных о свойствах материала строят диаграмму в координатах $\sigma - \varepsilon$.

По полученной диаграмме растяжения (рис. 1.1) определяют следующие механические характеристики материала:

а) характеристики прочности:

Предел пропорциональности – максимальное напряжение, до которого материал подчиняется закону Гука ($\sigma = E \cdot \varepsilon$):

$$\sigma_{\text{пц}} = \frac{F_{\text{пц}}}{A_0}, \quad (1.1)$$

где $F_{\text{пц}}$ – нагрузка, соответствующая пределу пропорциональности, A_0 – площадь сечения образца до нагружения;

Предел упругости (условный) – напряжение, при котором в материале возникают остаточные деформации не более $\varepsilon = 0,05\%$:

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_0}, \quad (1.2)$$

где F_y – нагрузка, соответствующая пределу упругости;

Предел текучести (физический) – напряжение, при котором происходит рост пластической деформации без заметного увеличения нагрузки:

$$\sigma_{\text{т}} = \frac{F_{\text{т}}}{A_0}, \quad (1.3)$$

где $F_{\text{т}}$ – нагрузка, соответствующая пределу текучести.

У высокоуглеродистых сталей, цветных металлов, пластмасс и ряда других материалов диаграмма растяжения не имеет площадки текучести. В этом случае, например, для высокоуглеродистой стали (рис. 2.1.1 б)) определяют *условный предел текучести* при нагрузке, соответствующей остаточному удлинению образца $\varepsilon=0,2\%$:

$$\sigma_{0,2} = \frac{F_{0,2}}{A_0}; \quad (1.4)$$

Предел прочности (временное сопротивление) – отношение максимальной силы, которую может выдержать образец, к его начальной площади:

$$\sigma_{\text{в}} = \frac{F_{\text{в}}}{A_0}; \quad (1.5)$$

Кроме того, можно получить *истинное сопротивление разрыву*:

$$\sigma_{\text{ви}} = \frac{F_{\text{к}}}{A_{\text{ш}}} \quad (1.6)$$

где $A_{\text{ш}}$ – площадь поперечного сечения образца в зоне разрыва шейки.

б) характеристики прочности:

Относительное остаточное удлинение после разрыва:

$$\delta = \frac{\Delta l_{\text{р}}}{l_0} 100\% = \frac{l_1 - l_0}{l_0} 100\% \quad (1.7)$$

где l_1 – расстояние между рисками после разрыва, в мм, l_0 – расчетная длина, в мм;

Относительное остаточное сужение после разрыва:

$$\Psi = \frac{\Delta A}{A_0} 100\% = \frac{A_0 - A_{ш}}{A_0} 100\% \quad (1.8)$$

Удельная работа – характеризует способность материала поглощать энергию при разрыве, вязкость материала и сопротивляемость его воздействию динамических нагрузок (измеряется в $\frac{Нм}{м^2}$):

$$a = \frac{W_F}{V_0} \quad (1.9)$$

где W_F – работа, затраченная на разрыв образца и равная площади диаграммы $OA...EKN_1$. Вычисляется с учетом масштабов нагрузки и удлинения по приближенной формуле:

$$W_F = 0,85 F_B \Delta l \quad (1.10)$$

где $V_0 = A_0 l_0$ – объём расчетной части образца до испытания.

Из всех выше перечисленных характеристик в инженерной практике используются основные характеристики: σ_T , σ_B , δ , Ψ , a т.к. их определение не вызывает технических затруднений.

Влияние повторных нагрузок на механические свойства материалов. Наклёп.

Если разгрузить образец после достижения в нем напряжений выше предела текучести σ_T , например, в точке L (рис. 1.1), то перо самописца прочертит линию LM , параллельную линии OB . При этом упругая деформация $\Delta l'_{y} = MM_1$ исчезнет, а останется пластическая (остаточная) $\Delta l_{ост} = OM$.

При повторном нагружении перо самописца прочертит линию, практически совпадающую с линией разгрузки. В результате получается диаграмма $MLEK$. При этом возрастает нагрузка, до которой материал подчиняется закону Гука, и исчезают площадка текучести и часть диаграммы, расположенная левее линии ML . Таким образом, начало координат фактически переместится в точку M . Остаточное удлинение после разрыва будет меньше, чем в образце, не подвергавшемся предварительной пластической деформации, т.е. $MN < ON$.

Явление повышения предела пропорциональности после пластической деформации материала при повторном нагружении называется *наклёпом*. При этом снижаются пластические свойства материала.

Описание испытательной машины и образцов.

Лабораторную работу выполняют на универсальной гидравлической испытательной машине марки УГ-20 (или УИМ-60), предназначенную для испытаний образцов материалов и элементов конструкций статическими нагрузками.

Основными частями машина УГ-20 (рис. 1.2) являются: насосный агрегат, пресс, силоизмеритель.

Насосный агрегат состоит из электродвигателя 1 и масляного насоса высокого давления 2. Насос размещён в баке с залитым маслом. Максимальное давление рабочей жидкости (масла), создаваемое насосом, составляет около 20 МПа. Насос трубопроводами высокого давления сообщается с силовым гидроцилиндром 8 и с гидроцилиндром 11 силоизмерителя.

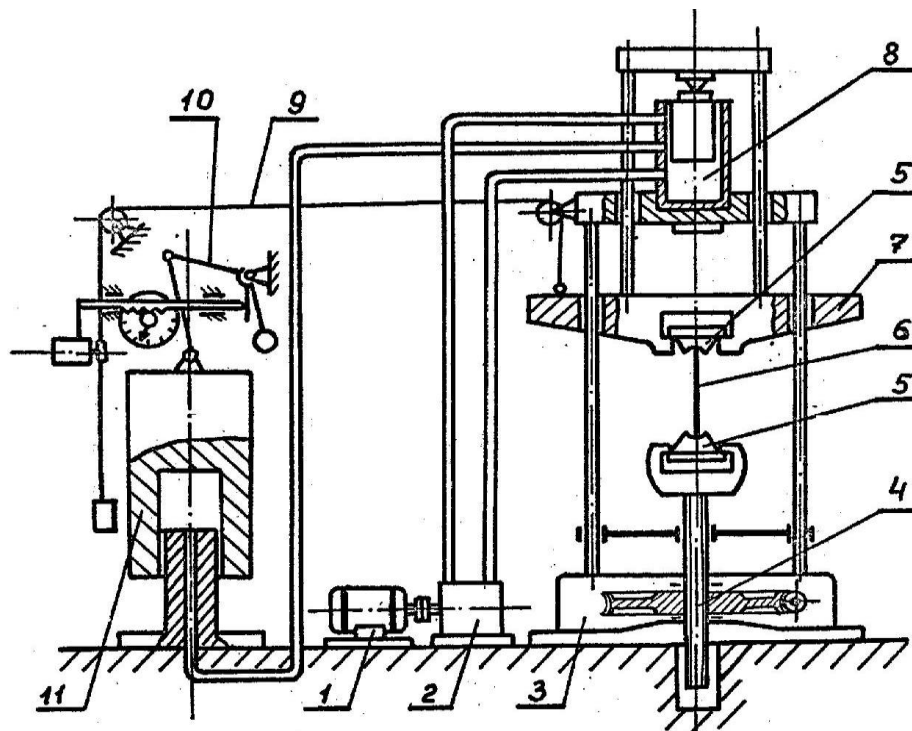


Рис. 1.2. Схема гидравлической испытательной машины УГ-20

Пресс имеет основание 3, внутри которого находится червячный редуктор для подъёма и опускания винта 4 вместе с нижним захватом 5. Верхний захват смонтирован в траверсе 7. С помощью захватов 5 закрепляется образец 6, испытываемый на растяжение. Усилие к образцу передаётся от гидроцилиндра 8, перемещающего по направляющим траверсу (стол) 7. Перемещение траверсы через тросик 9 передаётся на барабан 12 для регистрации деформации (удлинения) образца. Силоизмеритель через гидроцилиндр 11 передаёт усилие на рычажную систему 10 с противовесом и одновременно на рейку с закреплённым на ней пером самописца и стрелку циферблата, регистрируя нагрузку. Машина снабжена самопишущим диаграммным аппаратом 12 для записи диаграммы в координатах: нагрузка – перемещение.

Для определения механических характеристик материалов используют стандартные цилиндрические (рис. 1.3) и плоские образцы согласно ГОСТ 1497-73.

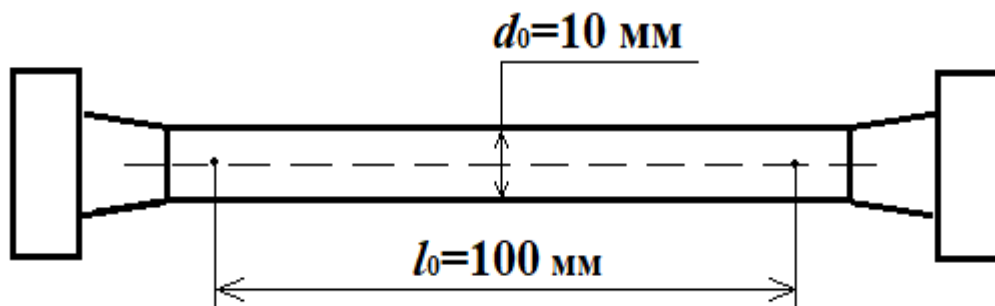


Рис. 1.3. Эскиз цилиндрического образца

Расчетной длиной образца l_0 называется длина его цилиндрической части, в пределах которой производится измерение остаточного удлинения после разрыва. Конические переходы обеспечивают уменьшение концентрации напряжений и исключают вероятность разрушения образца у головок. Поверхность образца тщательно обрабатывают.

Порядок проведения работы.

1. Для испытания предлагаются круглые или плоские образцы, изготовленные из малоуглеродистой стали. Затем для цилиндрических образцов измеряют штангенциркулем (с ценой деления 0,1 мм) диаметр d_0 в трех сечениях по длине, а для плоских – ширину b_0 и высоту h_0 поперечного сечения. По наименьшему из полученных размеров определяют A_0 . Замеряют расчетную длину образцов l_0 также с точностью 0,1 мм и заносят все данные в журнал наблюдений.

2. Вставляют образец в захваты 5 машины. Слегка натянув образец, проверяют диаграммный аппарат и наносят ось абсцисс диаграммы, проворачивая барабан 12 вручную.

3. Включают машину и начинают нагружение. При достижении нагрузки, соответствующей точке L на диаграмме сбрасывают нагрузку практически до нуля, а затем снова повышают её и доводят образец до разрушения. При этом скорость нагружения не должна превышать 0,1 длины образца в минуту, иначе будут получены завышенные значения механических характеристик, так как в этом случае процесс нагружения надо рассматривать в динамической постановке.

4. Вынимают разрушенный образец из захватов машины, замеряют его диаметр в месте разрыва $d_{ш}$. Сложив две части разрушенного образца, измеряют его длину после разрыва l_1 .

5. Зная масштаб полученной диаграммы, определяют значения, F_t , F_b , F_k и вычисляют характеристики прочности по формулам (1.3) и (1.5), а истинное значение сопротивления разрыву $\sigma_{ви}$ по формуле (1.6).

6. Определяют характеристики пластичности δ и Ψ по формулам (1.7) и (1.8).

7. Вычисляют удельную работу a , затраченную на разрыв образца, по формуле (1.9).

8. По полученным значениям σ_t , σ_b и δ из справочных данных (табл. 1.1) определяют марку стали. Остальные показатели ($\sigma_{пц}$, σ_y , $\sigma_{0,2}$, $\sigma_{ви}$, Ψ , a , W_F) также характеризуют свойства материала, но не влияют на выбор марки материала.

Табл. 1.1. Основные механические характеристики различных марок сталей

Марка стали		Предел прочности σ_b , МПа	Предел текучести σ_t , МПа	Относительное удлинение δ , %
Сталь углеродистая обыкновенного качества	Ст. 0	320 – 470	190	22
	Ст. 1	320 – 400	–	33
	Ст. 2	340 – 420	220	31
	Ст. 3	380 – 430	240	27-26
	Ст. 4	420 – 520	260	26-23
	Ст. 5	500 – 620	280	21-19
	Ст. 6	600 – 720	310	15-13
	Ст. 7	700 – 800 и более	–	11-9
Сталь углеродистая качественная конструкционная	30	480	290	21
	35	520	310	20
	40	570	320	19
	45	600	340	16
	50	630	350	14

Содержание отчёта:

1. Название лабораторной работы.
2. Цель лабораторной работы.
3. Испытательная машина (тип, марка).
4. Эскизы образцов (до и после испытания).
5. Исходные данные:
 - 5.1. Диаметр образца до испытания d_0
 - 5.2. Площадь поперечного сечения до испытания A_0
 - 5.3. Диаметр образца после испытания в месте шейки $d_{ш}$
 - 5.4. Площадь поперечного сечения в месте шейки $A_{ш}$
 - 5.5. Расчётная длина образца до испытания l_0
 - 5.6. Длина образца после испытания l_1
6. Вычисления
7. Диаграммы растяжения

В выводах необходимо отметить:

- как происходит разрушение образца;
- какова величина относительного удлинения при разрушении;

- совпадает ли диаграмма растяжения с диаграммой истинных напряжений;
- почему истинные напряжения больше условных.

Вопросы для самоконтроля.

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Для чего нужна диаграмма растяжения материала и в каких координатах она строится?
3. На какой машине проводятся испытания? Опишите её конструкцию.
4. Как работают силоизмерительное и записывающее устройство?
5. Какие образцы применяют при испытании на растяжение? Назовите их основные характеристики.
6. Почему диаграмма растяжения, полученная на машине, имеет начальный криволинейный участок O_1A ?
7. Что характеризует диаграмма растяжения, построенная в координатах $F - \Delta l$: свойства образца данных размеров или свойства материала?
8. Какие зоны имеет диаграмма растяжения? Опишите их.
9. Для какого участка диаграммы справедлив закон Гука?
10. Что понимают под пределом пропорциональности, пределом упругости, пределом текучести и пределом прочности?
11. Для каких материалов определяют условный предел текучести?
13. Какие деформации называют упругими, а какие остаточными (пластическими)? Как их определить на диаграмме растяжения?
14. Чем отличаются друг от друга диаграммы растяжения при пластичном и хрупком разрушении материалов?
15. Какие характеристики прочности материалов известны?
16. Какие характеристики пластичности материалов известны?
17. Что называют наклёпом?
18. Как изменяются механические свойства материала после наклёпа?
19. Как используют в технике явление наклёпа? Приведите примеры.
20. Когда появляется шейка на образце?

2. Лабораторная работа № 2 «Испытание на сжатие образцов из стали и чугуна»

Цель работы: изучение поведения пластичных, хрупких и анизотропных материалов при сжатии и определение их механических характеристик.

Теоретическая часть работы. Помимо испытания на растяжение вторым основным видом лабораторного исследования является испытание материалов на сжатие. При этом также как и при растяжении, получают диаграмму в координатах $F - \Delta l$. Рассмотрим особенности поведения различных материалов при сжатии (рис. 2.1).

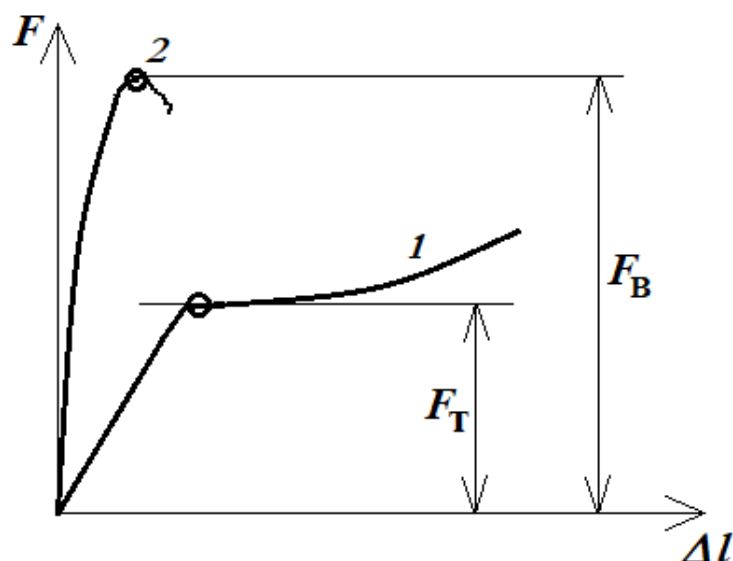


Рис. 2.1. Диаграммы сжатия образцов из различных материалов:
1 – малоуглеродистая сталь; 2 – чугун

Из диаграммы сжатия стального образца (рис. 2.1, кривая 1) видно, что первоначально наблюдается линейная зависимость между нагрузками и деформациями (подчинение закону Гука). Затем появляется площадка текучести, выраженная не столь ярко, как при растяжении.

Стальной цилиндрический образец при сжатии укорачивается и принимает бочкообразную форму вследствие трения между его торцами и нажимными плитами машины. Влияние трения можно уменьшить путем смазки опорных поверхностей образца или применением образцов специальной формы. Это дает возможность повысить достоверность результатов испытаний.

При дальнейшем деформировании сопротивление образца резко увеличивается, образец расплющивается, иногда с образованием трещин вдоль образующих. Предел прочности для пластичных сталей на сжатие не существует. Можно определить только *предел текучести на сжатие* по формуле:

$$\sigma_{\tau}^{\text{сж}} = \frac{F_{\tau}}{A_0}. \quad (2.1)$$

Следует подчеркнуть, что здесь также, как и при растяжении, в расчетах используется первоначальная площадь поперечного сечения образца A_0 .

При сжатии чугунного образца (рис. 2.1, кривая 2) линейной зависимости между нагрузками и деформациями не наблюдается практически с начала нагружения. Однако в условиях тех небольших деформаций, при которых чугун работает в деталях машин и сооружений, диаграмму $F - \Delta l$ принимают прямолинейной и считают, что материал подчиняется закону Гука. При этом на диаграмме четко выражена только разрушающая нагрузка F_B . Отношение F_B к первоначальной площади A_0 поперечного сечения образца называют *пределом прочности (временным сопротивлением)* чугуна на сжатие

$$\sigma_B^{сж} = \frac{F_B}{A_0}. \quad (2.2)$$

На рисунке 2.2 представлена форма образцов стали (рис. 2.2 а) и чугуна (рис. 2.2 б) до и после испытания на сжатие.

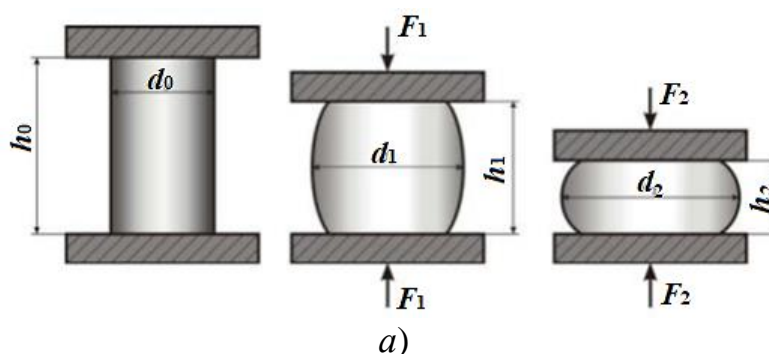
Стальной образец (рис. 2.2 а) при сжатии не разрушается (пластичный материал) и его можно сжимать до образования тонкой пластины.

Чугунный образец, укорачиваясь незначительно, принимает бочкообразную форму (рис. 2.2 б) и разрушается внезапно с образованием трещин, наклонённых к оси образца под углом $\alpha = 45^\circ$. Образец разрушается под действием максимальных касательных напряжений τ_{max} , возникающих на площадках, наклонённых к оси на угол $\alpha = 45^\circ$. Нагрузочная способность чугуна при разрушении падает практически мгновенно, что характерно для хрупких материалов.

Описание испытательной машины и образцов.

Работа выполняется на универсальной испытательной машине, описанной выше в лабораторной работе № 1.

Для испытания на сжатие пластичных материалов (малоуглеродистые стали, медь, алюминий, рис. 2.2 а) и хрупких (чугун, рис. 2.2 б) применяют цилиндрические образцы диаметром d_0 и высотой $h_0 = (1,5 \div 2,0) d_0$.



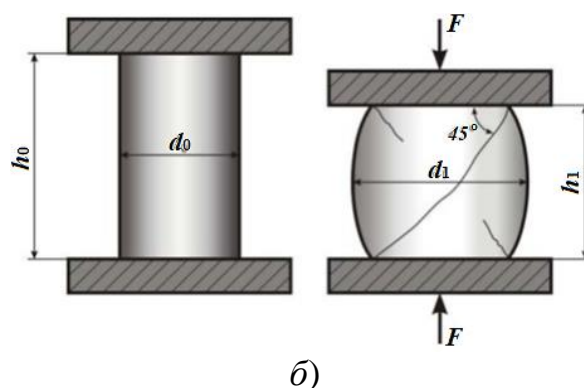


Рис. 2.2. Особенности разрушения образцов из различных материалов:
а) сталь; б) чугун

При меньшей высоте образца силы трения, возникающие на торцах, оказывают значительное влияние на развитие деформаций и на прочность материалов. Образцы с большей высотой также не рекомендуется применять вследствие влияния продольного изгиба на результаты испытаний.

Порядок проведения работы.

1. Штангенциркулем измеряют поперечные размеры и высоту каждого образца с точностью 0,1 мм и записывают в журнал наблюдений.

2. Каждый образец фиксируют между плитами испытательной машины. Опустив перо самописца на диаграммный барабан, который проворачивают вручную и наносят нулевую отметку – ось Δl . Затем включают машину.

3. При испытании стального образца нагружение продолжают до тех пор, пока его полная деформация не составит примерно $\Delta h = 1/3$ от первоначальной высоты h . По диаграмме определяют положение площадки текучести и, зная масштаб нагрузки, вычисляют предел текучести на сжатие по формуле (2.1).

4. При испытании чугунного образца деформирование продолжают до его разрушения. По показанию контрольной стрелки силоизмерителя и по полученной диаграмме определяют разрушающую нагрузку F_B и вычисляют предел прочности на сжатие $\sigma_B^{сж}$ по формуле (2.2).

Содержание отчёта:

1. Название лабораторной работы.
2. Цель работы.
3. Испытательная машина (тип, марка).
4. Эскизы образцов.
5. Основные исходные данные:
 - 5.1. Размеры образцов: диаметр d ; высота h ; ширина a ; длина b .
 - 5.2. Площади поперечных сечений образцов A_0 .
6. Копии машинных диаграмм сжатия образцов.
7. Результаты испытаний.
8. Вычисления

9. Диаграммы сжатия

В выводах необходимо отметить:

- как происходит разрушение образца;
- основные механические характеристики образцов при сжатии.

Вопросы для самоконтроля.

1. Какова цель лабораторной работы?
2. На какой машине проводятся испытания?
3. Опишите конструкцию испытательной машины.
4. Опишите порядок проведения лабораторной работы.
5. Для чего нужна машинная диаграмма сжатия?
- 6 В каких координатах получают машинную диаграмму сжатия при испытаниях?
7. Чем отличаются диаграммы сжатия пластичных и хрупких материалов?
8. Какие материалы называют анизотропными?
9. Приведите пример из техники с рациональным использованием анизотропных свойств материала.
10. Какие материалы называются изотропными?
11. Приведите пример из техники с рациональным использованием изотропных свойств материала.
12. Какие явления можно ожидать по сравнению с обычным испытанием стального образца на сжатие, если торцевые поверхности образца смазать машинным маслом?
13. Какие характерные особенности разрушения проявляются у образцов из стали и чугуна при испытании на сжатие?
14. Какие механические характеристики материалов получают при испытании на сжатие пластичных материалов?
15. Какие механические характеристики материалов получают при испытании на сжатие хрупких материалов?
16. Отличаются ли значения пределов текучести при сжатии и растяжении образцов из малоуглеродистой стали?
17. Можно ли оценить механические свойства материалов непосредственно по машинной диаграмме?
18. В чем отличие в поведении стального образца при испытании на сжатие и на растяжение?
19. Почему стальной образец при сжатии не разрушается?
20. Почему образцы из чугуна и стали при сжатии приобретают бочкообразную форму?

3. Лабораторная работа № 3 «Определение коэффициента Пуассона и модуля упругости для стали при растяжении»

Цель работы: экспериментальное определение коэффициента Пуассона (μ) и модуля упругости E при растяжении.

Теоретическая часть работы.

По закону Гука абсолютная продольная деформация стержня при растяжении – сжатии силой F в пределах упругих деформаций определяется по формуле:

$$\Delta l = \frac{Nl}{EA} \quad (3.1)$$

где N – продольная (нормальная) сила; l – расчётная длина стержня; E – модуль продольной упругости (модуль упругости при растяжении); A – площадь поперечного сечения стержня.

Определив опытным путём величины осевой нагрузки F и вызванную ею продольную деформацию Δl , и, зная размеры испытуемого стержня, можно вычислить модуль продольной упругости по формуле:

$$E = \frac{F}{\varepsilon A} \quad (3.2)$$

где $F = N$; $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ – относительная продольная деформация.

Под воздействием внешней нагрузки изменяются как продольные, так и поперечные размеры стержня, соотношение между которыми при растяжении или сжатии для каждого материала является величиной постоянной в пределах упругих деформаций.

Коэффициентом Пуассона μ называют абсолютную безразмерную величину отношения относительной поперечной деформации ε' к относительной продольной деформации ε :

$$\mu = \left| \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \right| \quad (3.3)$$

где $\varepsilon' = \frac{\Delta b}{b}$, $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$; b и l – начальные поперечные и продольные размеры бруса соответственно.

Таким образом, коэффициент Пуассона можно вычислить, если измерить абсолютные линейные деформации бруса в поперечном Δb и продольном Δl направлениях при заданной осевой нагрузке F .

Модуль упругости E и коэффициент Пуассона μ характеризуют упругие свойства материала и определяются экспериментально. Для различных материалов коэффициент Пуассона изменяется от нуля (для пробки) до величины, близкой к 0,5 (для резины и парафина). Для стали модуль упругости E принимает значения в пределах $(1,8 \div 2,2) \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона μ

– в пределах $0,25 \div 0,33$. При проведении практических расчетов для стали можно принять $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, $\mu = 0,3$.

Описание лабораторной установки.

Величина абсолютного удлинения и сужения образца определяется при помощи *тензометров Гугенбергера* (рис. 3.1).

Механический тензометр Гугенбергера применяется для измерения абсолютного удлинения и сужения образца.

Тензометр Гугенбергера представляет собой рычажную систему, смонтированную на корпусе 1, который опирается на поверхность исследуемого элемента двумя призмами: неподвижной 2 и подвижной 3. Расстояние между нижним ребром неподвижной и подвижной призм называется *базой тензометра* и обозначается S ($S=20$ мм). При изменении расстояния S в результате деформации образца на величину ΔS подвижная призма наклоняется, поворачиваясь вокруг её верхнего неподвижного ребра. При этом конец “с” рычага 4, жёстко соединённого с подвижной призмой, смещается в горизонтальном направлении и подводком 6 смещает стрелку 7, шарнирно закреплённую в точке D . Конец стрелки 7 перемещается вдоль миллиметровой шкалы 5. Цена одного деления шкалы тензометра равна 10^{-3} мм.

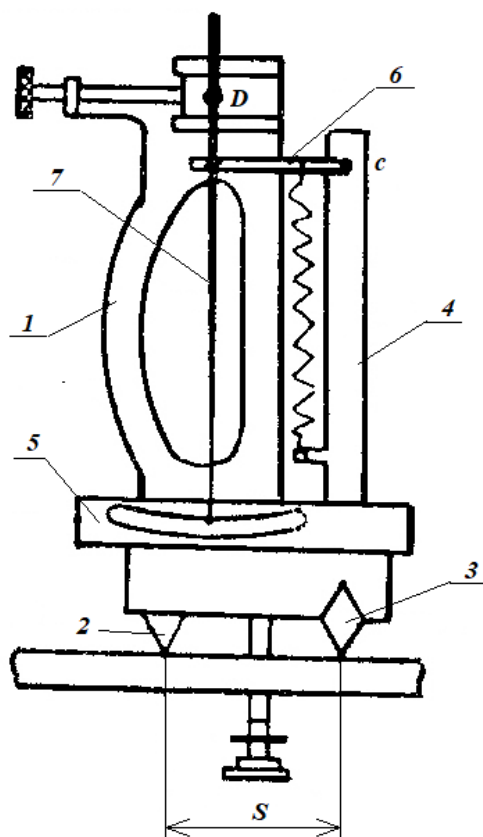


Рис. 3.1. Механический тензометр Гугенбергера

Растяжение образца производится при помощи разрывной машины ИМ–4Р.

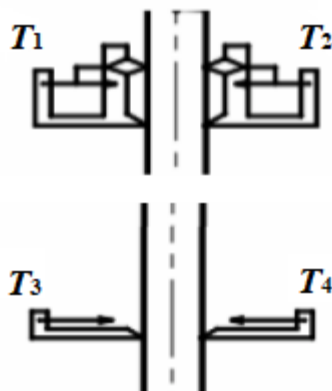


Рис. 3.2. Схема установки образца и тензометров на разрывной машине ИМ–4Р

Чтобы исключить влияние неравномерного растяжения образца в случае его неточного установки в захват машины, на образце закрепляют по два тензометра по одному с каждой стороны, как показано на рис. 3.2. При этом тензометры T1 и T2 измеряют деформации в продольном направлении, а тензометры T3 и T4 – в поперечном направлении.

Порядок проведения работы.

1. Штангенциркулем измеряют поперечные размеры образца b и a с точностью 0,1 мм. Определяют величину ступени нагружения ΔF и число опытов m и записывают эти данные в журнал наблюдений (см. Приложение).

2. Нагружают образец нагрузками ΔF , равными 5 кН и 20 кН и записывают соответствующие показания всех тензометров T1, T2, T3, T4.

3. Опыт повторяют три раза.

4. Вычисляют среднюю разность отсчетов по формуле:

$$\Delta n_i = \frac{\Delta n_1 + \Delta n_2 + \Delta n_3}{3}$$

5. Определяют абсолютное удлинение (укорочение) на ступень нагружения 15 кН.

6. Вычисляют среднее значение приращений показаний двух тензометров T1, T2 для измерения продольных деформаций и двух тензометров T3, T4 – для измерения поперечных деформаций по формулам соответственно:

$$\Delta l_{\text{ср}} = \frac{\Delta l_1 + \Delta l_2}{2}$$

$$\Delta l'_{\text{ср}} = \frac{\Delta l_3 + \Delta l_4}{2}$$

7. Определяют относительные деформации:

– продольную $\varepsilon = \frac{\Delta l_{\text{ср}}}{S}$

– поперечную $\varepsilon' = \frac{\Delta l'_{\text{ср}}}{S}$

7. Определяют:

– коэффициент Пуассона $\mu = \left| \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \right|$

– модуль упругости стали $E = \frac{\Delta P}{F} \cdot \frac{1}{\varepsilon}$

Содержание отчёта

1. Название лабораторной работы.

2. Цель лабораторной работы.

3. Испытательная машина (тип, марка).

4. Исходные данные:

4.1. Поперечное сечение образца:

ширина b , высота a , площадь поперечного сечения A .

4.2. База тензометров S .

4.3. Коэффициент увеличения тензометра k .

4.4. Табличные значения:

- модуль продольной упругости стали E ;

- коэффициент Пуассона стали μ .

5. Вычисления

В выводах необходимо отметить:

– соответствие экспериментальных значений модуля упругости и коэффициента Пуассона табличным значениям для стали.

Вопросы для самоконтроля.

1. Какова цель лабораторной работы?

2. На какой машине проводятся испытания. Опишите ее конструкцию.

3. Опишите порядок выполнения лабораторной работы.

4. Как формулируется и записывается закон Гука при растяжении?

5. Что называют модулем продольной упругости материала?

6. Каков физический смысл модуля продольной упругости материала.

7. Как записывается формула абсолютного удлинения бруса при растяжении?

8. Что такое жесткость сечения бруса при растяжении?

9. Что происходит с поперечными размерами бруса при его растяжении в продольном направлении?

10. Что такое относительная продольная деформации бруса?

11. Что такое относительная поперечная деформации бруса?
12. Как определяются эти деформации?
13. Что такое коэффициент Пуассона?
14. Каковы пределы его изменения?
15. Как устроен механический тензомер Гугенбергера?
16. Что им измеряют?
17. Что такое коэффициент увеличения тензометра?
18. Что называют базой тензометра?
19. Что такое ступень нагружения?
20. Как определяется наибольшая нагрузка, прикладываемая к образцу?

4 Лабораторная работа № 4 «Испытание на кручение образцов из стали и чугуна»

Цель работы: определение механических характеристик пластичных и хрупких материалов при кручении.

Теоретическая часть работы.

В инженерной практике большинство валов машин, витые пружины и т.п. работают на кручение. При кручении стержня круглого и кольцевого поперечных сечений возникает деформация чистого сдвига. При этом максимальные касательные напряжения τ_{\max} возникают в поверхностном слое стержня в поперечных и продольных направлениях, а главные нормальные напряжения $\sigma_1 = \tau_{\max}$, $\sigma_3 = -\tau_{\max}$ лежат в плоскости, касательной к поверхности стержня, и направлены под углом $\alpha = 45^\circ$ к его образующей. В процессе закручивания стандартных образцов в испытательной машине получают диаграммы в координатах крутящий момент M_k – угол закручивания φ .

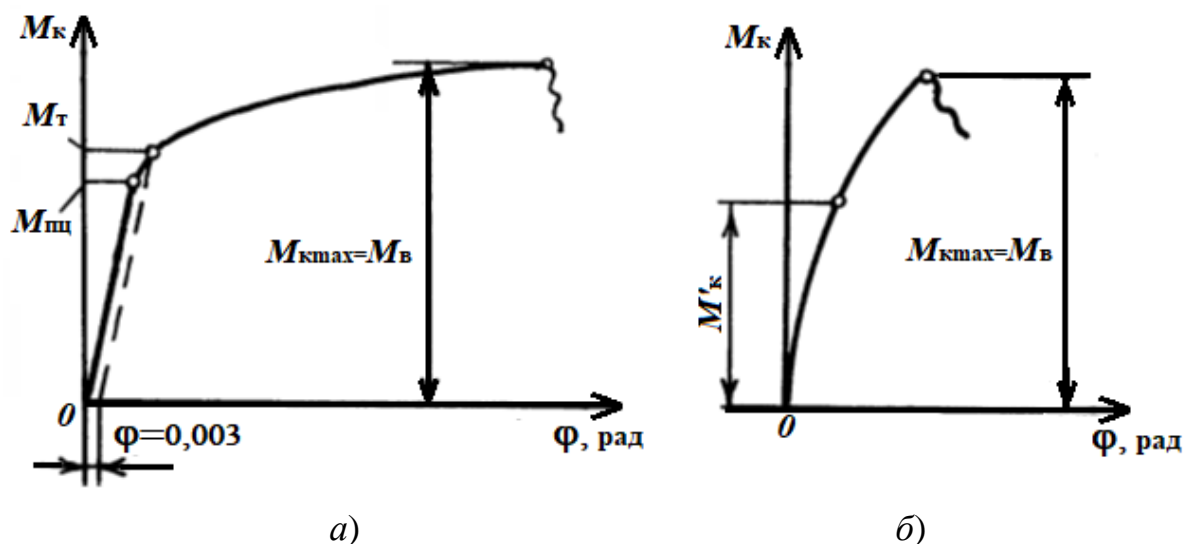


Рис. 4.1. Диаграммы кручения образцов:
а) малоуглеродистая сталь; б) чугун

При испытании стального образца (рис. 4.1 а) при увеличении крутящего момента от нуля до некоторой величины $M_{\text{пл}}$ сохраняется прямая пропорциональная зависимость между величиной угла закручивания и крутящим моментом M_k . Таким образом, в этом интервале справедлив закон Гука при сдвиге $\tau = G\gamma$, следовательно угловую деформацию образца можно определить по формуле:

$$\varphi = \frac{M_k l_0}{GJ_p}. \quad (4.1)$$

Эту формулу удобно переписать в виде, удобном для экспериментального определения *модуля сдвига*:

$$G^0 = \frac{M_{\kappa} l_0}{\varphi J_p} \quad (4.2)$$

Теоретическое значение модуля сдвига вычисляют, используя справочные данные, по известной формуле:

$$G^T = \frac{E}{2(1+\mu)} \quad (4.3)$$

где E и μ – табличные значения модуля продольной упругости и коэффициента Пуассона для материала образца.

Предел пропорциональности при кручении:

$$\tau_{\text{пц}} = \frac{M_{\text{пц}}}{W_p} \quad (4.4)$$

где $\sigma = \frac{M_x}{J_x} y$ – *полярный момент сопротивления поперечного сечения* стержня

с расчетным диаметром d_0 . При этом касательные напряжения в сечении распределяются по линейному закону (рис. 4.2 а). Дальнейшее нагружение образца приводит к нарушению прямой пропорциональности и диаграмма переходит в пологую кривую.

При дальнейшем нагружении (рис. 4.2 б) в материале образца развиваются пластические деформации. Сначала они наблюдаются в поверхностном слое при напряжениях, равных пределу текучести τ_t . При дальнейшем деформировании эта зона достигает внутренних слоев, образуя кольцевую зону пластического деформирования. В центральной части сечения напряжения будут ниже τ_t , т. е. там остается упругая зона.

В качестве *предела текучести* τ_t условно принимают напряжения, при которых в образце появляются остаточные угловые деформации $\varphi = 0,003$ рад:

$$\tau_t = \frac{M_t}{W_p} \quad (4.5)$$

При последующем нагружении пластическая зона заполнит все сечение (рис. 4.2 в), несущая способность материала будет исчерпана и напряжения во всех точках сечения будут равны пределу текучести τ_t .

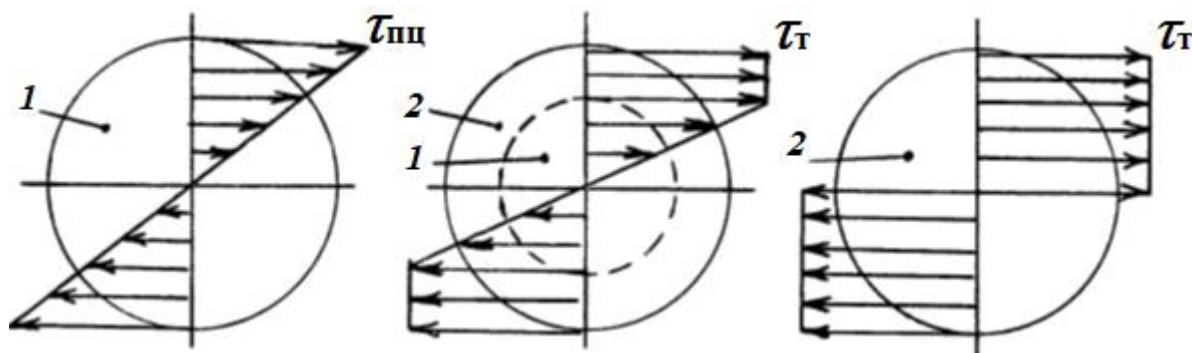


Рис. 4.2. Эпюры касательных напряжений при кручении (1 – упругая зона; 2 – пластическая зона): а) упругая стадия; б) стадия пластического деформирования; в) стадия разрушения

В момент разрушения образца вследствие упрочнения материала условная величина предела прочности τ_B может быть определена по формуле:

$$\tau_B = \frac{M_{\max}}{W_{\text{пл}}} \quad (4.6)$$

где $W_{\text{пл}} = \frac{\pi d^3}{12}$ – пластический момент сопротивления поперечного сечения при кручении.

Разрушение стального образца при кручении происходит по плоскости, перпендикулярной к оси образца, вследствие сдвига (среза) под действием касательных напряжений τ_{\max} . Подобным образом разрушаются при кручении все пластичные материалы (рис. 4.4 а).

Чугунный образец с увеличением крутящего момента не совсем строго подчиняется закону Гука, т. е. диаграмма $M_k - \varphi$ вплоть до разрушения немного криволинейна (см. рис. 4.1 б). Разрушение образца происходит вследствие отрыва по наклонным винтовым сечениям, расположенным под углом $\alpha \approx 45^\circ$ к его образующим, под действием главных растягивающих напряжений $\sigma_1 = \tau_{\max}$. Зернистый характер излома является следствием разрушения материала путём отрыва частиц (рис. 4.4 б). При этом условный предел прочности материала равен:

$$\tau_B = \tau_{\max} = \frac{M_{k\max}}{W_\rho} \quad (4.7)$$

На рис. 4.3. представлено напряжённое состояние образцов при кручении.

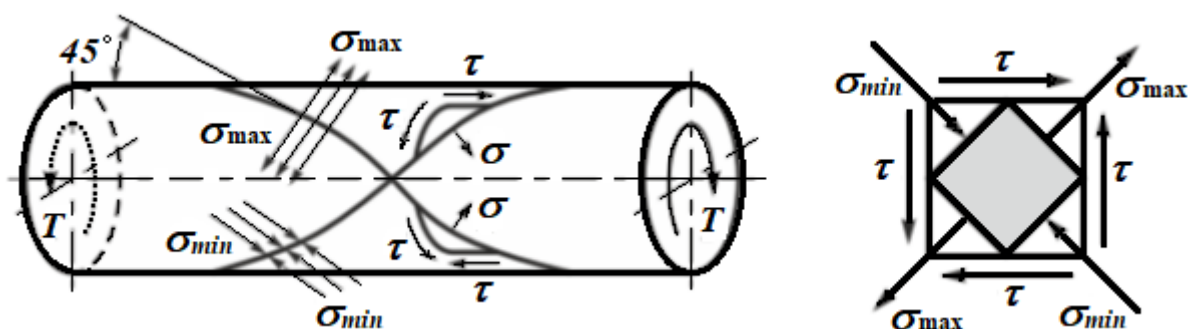


Рис. 4.3. Напряжённое состояние образцов при кручении

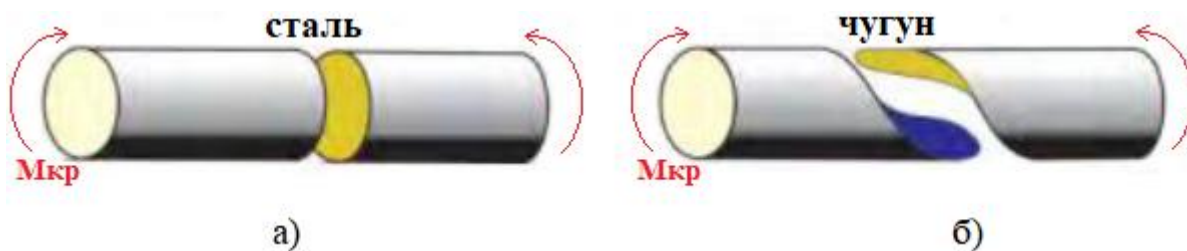


Рис. 4.4. Характер разрушения: а) стальной образец; б) чугунный образец

Описание испытательной машины и образцов.

Работа выполняется на машине КМ-50 (рис. 4.5). Машина имеет станину, на которой смонтированы механизмы нагружения и *силоизмерения*.

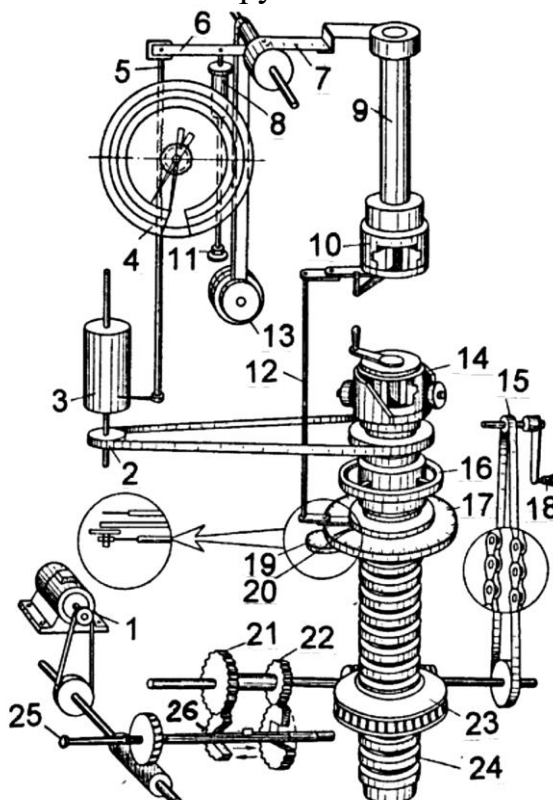


Рис. 4.5. Кинематическая схема испытательной машины КМ-50

Механизм нагружения.

Нагружение образца, установленного в нижнем 14 и в верхнем 10 захватах машины, осуществляется следующим образом. Крутящий момент на валу электродвигателя 1 через клиноременную передачу приводит во вращение червячную пару, которая через зубчатые зацепления 21, 22 и 23 вращает ходовой винт 24 с нижним захватом 14. Для ручного нагружения образца машина снабжена также ручным приводом, состоящим из рукоятки 18 и цепной передачи 15, нижнее зубчатое колесо которого вращает через зубчатую передачу 23 ходовой винт 24. Нагружение можно производить при двух

скоростях: 1 об/мин и 0,3 об/мин (перемещая стержень 25 со скользящей шпонкой 26 до зацепления ее с зубчатыми колесами 21 или 22). При ручном приводе шпонка 26 вообще выводится стержнем 25 из зацепления с зубчатыми передачами 21 и 22. При закреплении в захватах машины образцов различной длины нижний захват 14 перемещают по высоте, вращая маховик 16. Угол закручивания в пределах 3600 отсчитывают по шкале 17 со стрелочным указателем 20. Для отсчета целого числа оборотов машина снабжена счетчиком 19 с пределом измерения 10 оборотов. Показания угла закручивания по шкале 17 соответствуют относительному углу закручивания нижнего 14 и верхнего 10 захватов машины, что обеспечивается корректором 12.

Механизм силоизмерения.

При кручении образца верхний захват 10 наматывает на свой вал 9 тонкую гибкую тягу 7, которая отклоняет маятник 13 до тех пор, пока не будет уравновешен крутящий момент, возникающий в образце. При отклонении маятника 13 рычаг 6 перемещает зубчатую рейку 5, приводящую во вращение зубчатое колесо, насаженное на ось стрелки круговой шкалы 4 моментов. Одновременно перо, закрепленное на рейке 5, записывает на диаграммном аппарате 3 зависимость $M_k - \varphi$. Масштаб записи угла закручивания φ можно менять в пределах: 1 мм = 0,5° или 1 мм = 0,1°. Барабан 3 приводится во вращение от ходового винта 24 гибкой связью 2. Для предотвращения резкого падения маятника 5 вниз после разрушения образца к рычагу 6 присоединен шток масляного амортизатора 8. Для регулирования скорости опускания маятника предусмотрен клапан 11.

Образцы для испытания на кручение (рис. 4.6).

Длина рабочей цилиндрической части стандартного образца обычно составляет $l_0 = 10d_0$. Для закрепления в захватах машины образцы имеют головки с лысками (гранями). С целью уменьшения концентрации напряжений переход от цилиндрической части образца к головкам выполнен по конусу.

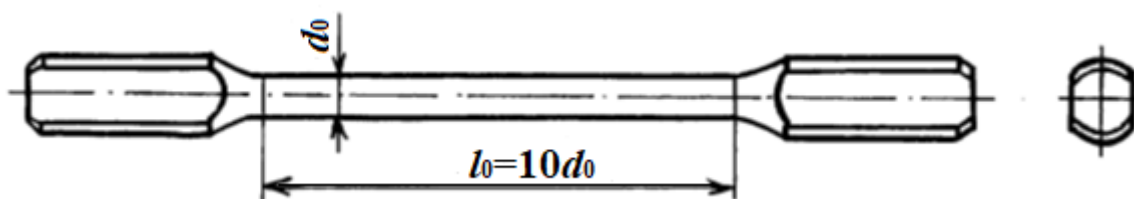


Рис. 4.6. Образец для испытания на кручение

Порядок проведения работы.

1. Измеряют расчетную длину l , диаметры образцов d и вычисляют полярные моменты сопротивления сечений W_p . Результаты заносят в журнал наблюдений (см. Приложение).

2. Закрепляют образец в захватах испытательной машины, включают ее и доводят образец до разрушения. При этом фиксируют величину момента M_T , соответствующего площадке текучести (для стального образца), величину максимального момента M_B при разрушении образцов и величину

максимального угла закручивания $\varphi_{\text{в}}$. Результаты заносят в журнал наблюдений.

3. Оценивают характер разрушения образцов.

4. Вычисляют по формулам (4.5; 4.6) пределы текучести $\tau_{\text{т}}$ и прочности $\tau_{\text{в}}$ (для стального образца) и по формуле (4.7) предел прочности $\tau_{\text{в}}$ для чугунного образца. Определяют относительный угол закручивания $\theta_{\text{в}}$, результаты заносят в журнал наблюдений.

5. Изображают диаграммы кручения стального и чугунного образцов.

Содержание отчёта.

1. Название лабораторной работы.
2. Цель лабораторной работы.
3. Испытательная машина (тип, марка).
4. Эскиз образца (до и после испытания).
5. Исходные данные:
 - 5.1. Расчетная длина l_0 .
 - 5.2. Расчетный диаметр d_0
 - 5.3. Полярный момент инерции сечения J_p .
 - 5.4 Полярный и пластический моменты сопротивления сечения W_p ; $W_{\text{пл}}$.
6. Вычисления
7. Диаграммы кручения.

В выводах необходимо отметить:

- как происходит разрушение образцов;
- основные характеристики прочности и пластичности материалов.

Вопросы для самоконтроля.

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Из каких основных узлов состоит испытательная машина КМ-50?
3. Расскажите назначение и устройство основных узлов испытательной машины.
4. Опишите порядок выполнения лабораторной работы.
5. Какое напряженное состояние возникает в каждой точке образца при кручении?
6. Как формулируется закон Гука при кручении?
7. Как вычисляются напряжения при кручении.
8. Как распределяются напряжения в поперечном сечении образца при упругом деформировании?
9. Как распределяются напряжения в поперечном сечении образца при пластическом деформировании?
10. Что называют жесткостью поперечного сечения стержня при кручении?
11. Что называют полярным моментом сопротивления?

12. Какие свойства материала характеризует модуль сдвига?
13. Какая зависимость существует между величинами E , G и μ ?
14. Во сколько раз изменится величина угла закручивания, если диаметр образца уменьшится вдвое?
15. Каковы отличительные особенности диаграмм кручения стержней из пластичных и хрупких материалов?
16. Почему диаграмма кручения стального образца не имеет нисходящего участка?
17. Какие характеристики прочности можно получить при испытании образцов из пластичных материалов?
18. Какие характеристики прочности можно получить при испытании образцов из хрупких материалов?
19. Какие характеристики пластичности можно получить при испытании образцов из пластичных материалов?
20. Какие характеристики пластичности можно получить при испытании образцов из хрупких материалов?

ГЛОССАРИЙ

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Условные обозначения	Термин	Единицы измерения в СИ
Δa	Абсолютное поперечное сужение бруса	м
Δl	Абсолютное удлинение бруса	м
J_{max}, J_{min}	Главные моменты инерции плоского сечения	м ⁴
$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$	Деформации в направлении главных напряжений $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	—
D, d	Диаметр	м
$[F]$	Допускаемая сила	Н
$[f]$	Допускаемая стрела прогиба	м
$[\tau]$	Допускаемое касательное напряжение	Па
$[\sigma]$	Допускаемое нормальное напряжение	Па
M_y, M_z	Изгибающие моменты относительно главных центральных осей инерции сечения y и z	Н·м
$M_{из}$	Изгибающий момент	Н·м
q	Интенсивность распределенной по длине нагрузки	$\frac{Н}{м}$
τ	Касательное напряжение	Па
μ	Коэффициент Пуассона	—
$F_{кр}$	Критическая сила	Н
$M_{кр}$	Крутящий момент	Н·м
i_{min}	Минимальный радиус инерции поперечного сечения	м
E	Модуль продольной упругости	Па
G	Модуль сдвига	Па
σ	Нормальное напряжение	Па
J_x, J_y	Осевые моменты инерции плоского сечения	м ⁴
W_y, W_x	Осевые моменты сопротивления относительно осей y и z	м ³
ε'	Относительная поперечная деформация бруса	—
ε	Относительная продольная деформация бруса	—
A	Площадь поперечного сечения бруса	м ²
J_p	Полярный момент инерции плоского сечения	м ⁴
W_p	Полярный момент сопротивления	м ³
Q_y, Q_x	Поперечная сила	Н
$\sigma_{пл}, \sigma_y, \sigma_t, \sigma_b$	Предел пропорциональности, предел упругости, предел текучести, предел прочности	Па
N	Продольная сила	Н

i_x, i_y	Радиусы инерции поперечного сечения относительно осей z и y .	м
$l_{\text{расч}}$	Расчетная (приведенная) длина бруса	м
F	Сосредоточенная сила	Н
S_y, S_x	Статические моменты площади фигуры	м ³
f	Стрела прогиба	м
ω	Угловая скорость	$\frac{\text{рад}}{\text{с}}$
φ	Угол закручивания	рад
I_{xy}	Центробежный момент инерции плоского сечения	м ⁴

НЕКОТОРЫЕ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНЫ ПО МЕХАНИКЕ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

1. Брус – тело, одно из измерений которого (длина) много больше двух других. Брус может иметь сечение постоянное или переменное вдоль оси. Брус, имеющий прямолинейную ось, называется *стержнем*. Стержень, работающий главным образом на изгиб, называется *балкой*, на кручение – *валом*.
2. Внешние силы – силы, действующие на систему со стороны, других тел, не входящих в рассматриваемую систему.
3. Внутренние силы – силы, действующие на точки или тела системы со стороны тел, входящих в данную систему.
4. Выносливость материала (детали) – способность сопротивляться действию многократных переменных нагрузок.
5. Геометрические характеристики плоских сечений – площадь, статические моменты плоских сечений, моменты инерции.
6. Гипотеза плоских сечений – плоские сечения, нормальные к оси стержня до деформации, остаются и после деформации плоскими и нормальными к его оси.
7. Деформация – изменение формы и размеров твердого тела под действием внешних сил.
8. Жесткость – способность конструкций и ее элементов не испытывать значительных деформаций при действии внешних нагрузок.
9. Изгиб – вид деформации при котором в поперечных сечениях балки возникают изгибающие моменты и часто, одновременно с последними, поперечные силы.
10. Кручение – вид деформации, когда в поперечных сечениях бруса возникают крутящие моменты.
11. Напряжение – мера внутренних сил, возникающих в деформируемом теле под влиянием внешних воздействий.
12. Пластика – тело, у которого одно из измерений (толщина) много меньше двух других. Искривленная пластинка в одном или двух направлениях называется оболочкой.
13. Прочность – способность конструкций и ее элементов воспринимать внешние нагрузки без разрушения.
14. Растяжение (сжатие) – вид деформации, когда при нагружении в поперечных сечениях бруса возникают только продольная растягивающая или сжимающая сила.
15. Сдвиг – угловая деформация, которая численно равна изменению величины первоначально прямого угла в радианах и обозначается γ .
16. Сложное сопротивление – в поперечных сечениях бруса возникает несколько внутренних силовых факторов.
17. Сопротивление материалов – это наука о расчете элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость.

18. Устойчивость – способностью тел сохранять первоначальную форму равновесия.

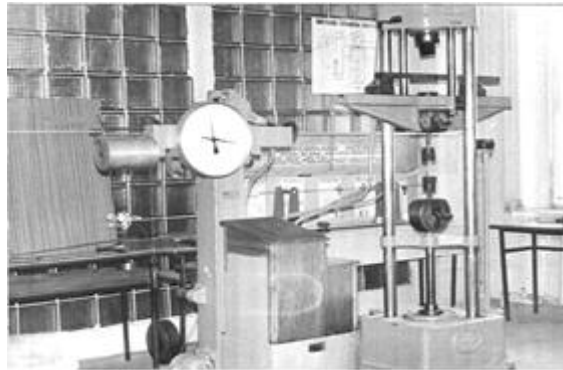
19. Эпюра – схематический график, показывающий как при нагружении конструкции внешними силами, распределяются величины: усилие, напряжение, деформация.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Лабораторная работа № I ИСПЫТАНИЕ НА РАЗРЫВ СТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА

Цель работы: получение диаграммы растяжения, определение основных механических характеристик, изучение характера разрушения образца.

Испытательная машина.



Форма и размеры образца

Форма места разрыва

Размеры образца до испытания	Диаметр в мм d_0		Размеры образца после испытания	Диаметр образца в месте разрыва в мм, $d_{ш}$	
	Площадь поперечного сечения в мм ² F_0			Площадь поперечного сечения образца в месте разрыва, мм ² $F_{ш}$	
	Расчетная длина в мм l_0			Расчетная длина в мм l_1	

Журнал наблюдений

Нагрузка в Н	Соответствующая пределу пропорциональности $F_{пц}$		Характеристики пластичности	Абсолютное удлинение в мм Δl	
	Соответствующая пределу текучести F_T			Относительное удлинение в % - ϵ	
	Наибольшая за время испытания образца F_B			Относительное сужение в % — ψ	
	В момент разрешения F_p		Работа деформации.	В пределах пропорциональности в Дж-а	
Характеристика прочности, МПа(Н/мм ²)	Предел пропорциональности			Полная в Дж-а	
	Предел текучести σ_T			Удельная в Дж/см ³ -а	
	Предел прочности σ_B			Допускаемое напряжение при коэффициенте запаса	
	Действительное напряжение в момент разрыва σ_H			Отношение предела текучести к пределу прочности σ_T/σ_B	

Диаграмма растяжения

Вычисления

Вывод

« _____ » _____ 20 ____ г.

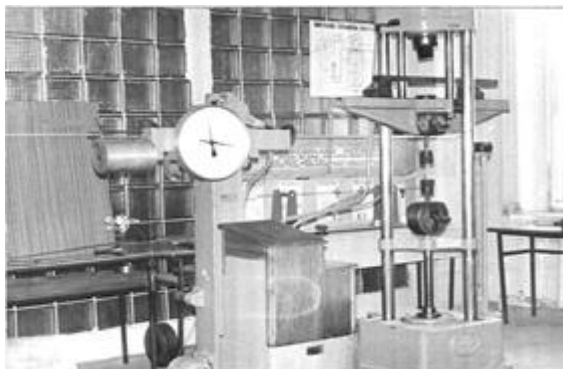
Руководитель

Лабораторная работа № 2

ИСПЫТАНИЕ НА СЖАТИЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ И ЧУГУНА

Цель работы: изучение характера разрушения образцов, построение диаграмм сжатия, определения основных механических характеристик материалов.

Испытательная машина



Форма и размеры образцов

До испытания

После испытание

Журнал наблюдений

Материал образца	Размеры образца до испытания			Нагрузка в Н соответствующая		Характеристики прочности в МПа	
	диаметр d мм	высота h мм	площадь поперечн. сечения F , мм^2	пределу текучести P_T (для стали)	пределу прочности P_B (для чугуна)	предел текучести σ_T (для стали)	предел прочности σ_B (для чугуна)
Чугун							
Сталь							

Диаграмма сжатия

Вычисления

Вывод

«_____» _____ 20__ г.
Руководитель

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА И МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ДЛЯ СТАЛИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

Цель работы: экспериментальное определение коэффициента Пуассона и модуля упругости при растяжении.

Испытательная машина

Растяжение образца производится на испытательной машине

Схема рычажного тензометра тензометров и размеры образца

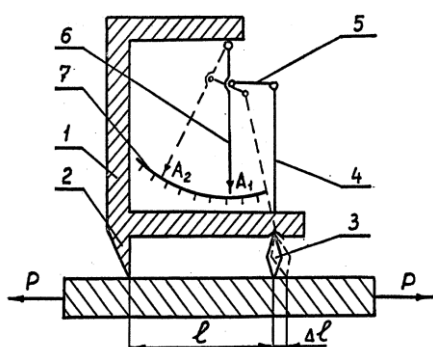
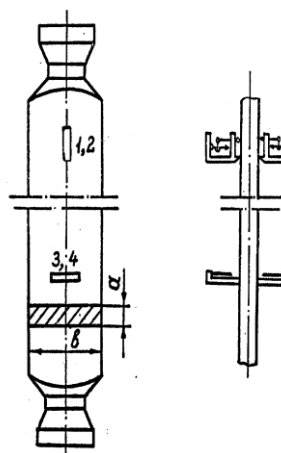


Схема установки



Журнал наблюдений

№	Нагрузка F , кН	Продольные деформации				Поперечные деформации			
		T1		T2		T3		T4	
		Отсче т n	Разнос ть отсчета в Δn	Отсче т n	Разнос ть отсчета в Δn	Отсче т n	Разнос ть отсчета в Δn	Отсче т n	Разнос ть отсчета в Δn
1	5								
	20								
2	5								
	20								
3	5								
	20								

Обработка результатов эксперимента

	Расчетная формула	Механические тензометры			
		T1	T2	T3	T4
Средняя разность отсчетов (дел.)	$\Delta n_i = \frac{\Delta n_1 + \Delta n_2 + \Delta n_3}{3}$				
Абсолютное удлинение (укорочение) на ступень нагружения 15 кН	$\Delta l_i = \Delta n_i \cdot 10^{-3}$				
Среднее абсолютное удлинение	$\Delta l_{cp} = \frac{\Delta l_1 + \Delta l_2}{2}$				
укорочение, мм	$\Delta l'_{cp} = \frac{\Delta l_3 + \Delta l_4}{2}$				
Относительная продольная (поперечная) деформация	$\varepsilon = \frac{\Delta l_{cp}}{S}$				
	$\varepsilon' = \frac{\Delta l'_{cp}}{S}$				
Коэффициент Пуассона	$\eta = \left \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \right $				
Модуль упругости, МПа	$E = \frac{\Delta P}{F} \cdot \frac{1}{\varepsilon}$				

Вычисления

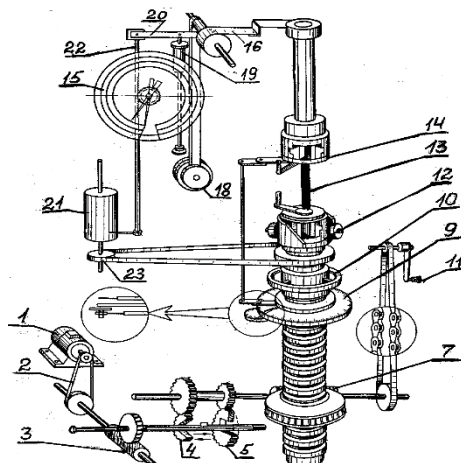
Вывод

«_____» _____ 20__ г.
Руководитель

Лабораторная работа № 4 ИСПЫТАНИЕ НА КРУЧЕНИЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ И ЧУГУНА

Цель работы: определение механических характеристик пластичных и хрупких материалов при кручении.

Схема машины на кручение



Формы, размеры и геометрические характеристики сечений образцов

Материал образца	Диаметр d мм	Расчетн. длина l , мм	Полярн. мом. инерции J_p , мм ⁴	Момент сопротив. W_p , мм ³
Сталь				
Чугун				

Журнал наблюдений

Нагрузки и деформации	M_T , Нм	M_B , Нм	Φ_B , град	Характер разрушения образца
Материал образца				
Сталь				
Чугун				

Диаграммы кручения стального образца в пределах пропорциональности

Масштаб:

Угол закруч. 1 мм_____град. моментов мм_____Н·м

Вычисления

Выводы

«_____»_____20____г.

Руководитель

Библиографический список

1. Феодосьев, В. И. Сопротивление материалов / В.И. Феодосьев. – М.: Наука, 1986. – 544 с.
2. Александров, А.В. Сопротивление материалов / А.В. Александров, В.Д. Потапов, Б.П. Державин – М.: Высш. шк., 1995. - 560 с.
3. Костенко, Н.А. Сопротивление материалов / Н.А. Костенко, С.В. Балясникова, Ю.Э. Волошановская и др. – М.: Высш. шк., 2000. – 430 с.
4. Феодосьев, В.И. Избранные задачи и вопросы по сопротивлению материалов / В.И. Феодосьев. – М.: Наука. Физматлит, 1996. – 368 с.
5. Сборник задач по сопротивлению материалов с примерами решения / Е. А. Евсеева, С. И. Зиневич, М. В. Югова. – Минск: БНТУ, 2017. – 274 с.
6. Лабораторный практикум по курсу «Сопротивление материалов» / Под ред. Мачихина Ю. А., Данилова В. Н. – М.: Изд. Моск. техн. ин-та пищ. пром, 1974. – 133 с.
7. Афанасьев, А. М. Лабораторный практикум по сопротивлению материалов / А. М. Афанасьев, В. А. Марьин – М.: Наука, 1975. – 288 с.
8. Сопротивление материалов: Лабораторный практикум / М.Д. Подскебко, О.И. Мисуно, С.А. Легенький. – Мн.: Амалфея, 2001. – 272 с.
9. Цурпал, И. А., Сопротивление материалов. Лабораторные работы / И. А. Цурпал, Н. П. Барабан, В. М. Швайкс – Киев: Вища школа, 1978. – 192 с.
10. Пирогов А.Н., Грачев В.Н., Яремчук А.И., Попова А. А. Сопротивление материалов. Лабораторный практикум. Учебное пособие. – Кемерово, 2004. - 125 с.: ил.
10. Методические указания к лабораторным работам по дисциплинам «Сопротивление материалов», «Механика материалов и конструкций», «Прикладная механика», «Техническая механика», «Механика»/А.Н. Соловьев, О.Н. Лесняк. И.Н. Вислоусова и др. – Ростов-на-Дону: Донской гос. техн. ун-т, 2018. – 70 с.

Оглавление

Предисловие.....	3
Введение.....	4
ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ.....	6
1. Лабораторная работа № 1 «Испытание на разрыв стального образца».....	10
2. Лабораторная работа № 2 «Испытание на сжатие образцов из стали, и чугуна».....	15
3. Лабораторная работа № 3 «Определение коэффициента Пуассона и модуля упругости для стали при растяжении».....	26
4 Лабораторная работа № 4 «Испытание на кручение образцов из стали и чугуна».....	32
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	32
ГЛОССАРИЙ.....	44
Вопросы для самопроверки.....	49
Библиографический список.....	52

Учебное издание

Лесняк Ольга Николаевна

**МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
ДЕФОРМИРОВАНИЯ**

Редактор
Компьютерная обработка

В печать 01.05.2022.
Формат 60×84/16. Объем 3,4 усл. п. л.
Тираж 100 экз. Заказ № 244. Цена свободная

Издательский центр ДГТУ
Адрес университета и полиграфического предприятия:
344010, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1