

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Казанский государственный аграрный университет»

Институт механизации и технического сервиса

Кафедра «Общеинженерные дисциплины»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ
МАТЕРИАЛОВ
(Часть 1)**

Методические указания для студентов очного и
заочного обучения по направлениям подготовки:

35.03.06 - «Агроинженерия»,

23.03.03 - «Эксплуатация транспортно -
технологических машин и комплексов»,

20.03.01 «Техносферная безопасность»

и по специальности:

23.05.01 – «Наземные транспортно-технологические средства»

УДК 808.2

ББКШ 141.2-7

Составители: Пикмуллин Г.В., Мустафин А.А.

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор кафедры «Инженерный менеджмент» Абдрахманов Р.К.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиноведение и инженерной графики» КНИТУ-КАИ Клементьев В.Г.

Методические указания для выполнения лабораторных работ по сопротивлению материалов обсуждены, одобрены и рекомендованы к печати на заседании методической комиссии Института механизации и технического сервиса Казанского государственного аграрного университета 18.11.2015г., протокол № 4.

Методические указания для выполнения лабораторных работ по сопротивлению материалов утвержден и рекомендован к печати на заседании кафедры «Общеинженерные дисциплины» Казанский ГАУ 19 октября 2015 года, протокол №3.

Пикмуллин Г.В., Мустафин А.А. Методические указания для выполнения лабораторных работ по сопротивлению материалов (часть 1). Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2015. - 40 с.

Методические указания предназначены выполнения лабораторных работ по дисциплине «Сопротивление материалов».

УДК 808.2

ББКШ 141.2-7

©Казанский государственный аграрный университет, 2015г.

Введение

Основная цель лабораторных работ по сопротивлению материалов - изучение механических свойств материалов и экспериментальная проверка теоретических положений сопротивления материалов.

Для выполнения лабораторных работ студент должен предварительно ознакомиться с планом испытаний, устройством машин, приборов, порядком выполнения работ.

Должны быть выявлены цель и ожидаемые результаты лабораторной работы. Все наблюдения, записи и подсчёты вносятся в журнал в процессе выполнения лабораторной работы. Отчёт о выполненной работе должен быть закончен в лаборатории. При этом студент не должен ограничиться получением лишь тех или иных результатов, отвечающих целевой установке опыта, но и должен сделать соответствующие выводы.

По окончании лабораторных работ проводится зачёт.

Настоящее методическое руководство разработано на основе многолетнего опыта кафедры «Общеинженерные дисциплины» Казанского ГАУ.

Инструкция по технике безопасности для студентов, работающих в механической лаборатории

1. Для выполнения лабораторных работ студент должен явиться в соответствующей одежде, подогнанной так, чтобы она не могла попасть, в движущиеся части машины; волосы должны быть подобраны.

2. Студент может работать на машинах только с разрешения преподавателя. Запрещается включение машин и производство каких-либо операций на них без разрешения преподавателя и при отсутствии преподавателя или лаборанта.

3. Управление машиной должен производить один студент, ответственный за испытание. Запрещается участвовать в управлении машиной и регулировке одновременно нескольким студентам. Другие студенты группы в это время должны наблюдать, снимать замеры, делать записи и обмер образцов.

4. Перед пуском машины управляющий ею обязан предупредить о начале работы. До пуска необходимо убедиться в нормальном положении частей машины, в правильной установке образцов и приспособлений, отсутствии на машине посторонних предметов. Следить, чтобы во время работы машины около движущихся частей ее не находились студенты.

5. Запрещается после пуска машины производить установку образцов и приспособлений, регулировочные операции. В случае надобности машину необходимо остановить.

6. Запрещается трогать руками детали ременных и зубчатых передач.

7. Запрещается дотрагиваться до открытых токоведущих частей: рубильников, штепселей, реостатов и деталей заземления.

Лабораторная работа №1

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Цель работы. Изучить устройство испытательных машин УИМ-50, Р-10 и машины ГЗИП для испытания на кручение, ознакомиться с устройством и принципами работы механического рычажного тензометра Гугенбергера, тензорезистора и измерительного моста.

Содержание работы. Лабораторные работы по сопротивлению материалов связаны с механическим испытанием (нагрузением) образцов материалов или элементов конструкций и, как правило, с измерением деформаций.

Нагружение образцов и деталей осуществляется на специальных испытательных машинах. Диапазон развиваемых машинами усилий очень широк, в лабораторной практике используются испытательные машины с усилиями от нескольких сотен ньютонов до 200...500 кН.

Деформации, которые возникают в испытуемых объектах, как правило, очень малы: абсолютные деформации измеряются микронами, а относительные - десятыми и сотыми долями процента. Такие малые деформации измеряются с помощью специальных высокочувствительных приборов.

Основные сведения об испытательных машинах

В лабораторной практике используются самые разнообразные испытательные машины. Однако при всём разнообразии всей им присущи одни и те же основные узлы и устройства. Любая испытательная машина состоит из нагружающего и силоизмерительного устройств, опорно-захватных приспособлений, станины.

Нагружающее устройство вызывает появление усилий в образцах. Самым простым нагружающим устройством является механизм прямого нагружения (поддон с гирями). Чаще встречается механизм рычажного нагружения, где с помощью одного или двух неравноплечих рычагов малым грузом удается вызвать большое усилие. Широко распространены машины, в которых усилие вызывается вывинчиванием не вращающегося винта (шпинделя) из гайки, приводимой во вращение через систему зубчатых зацеплений вручную или от электродвигателя. Машины с большим усилием в качестве нагружающего устройства, чаще всего, имеют гидравлический цилиндр с поршнем. Усилие создается за счет повышения давления жидкости в цилиндре под поршнем.

От типа нагружающего устройства получают названия испытательные машины: рычажная, гидравлическая, шпиндельная (механическая).

При динамических испытаниях образцов применяются кривошипно-шатунные механизмы, разнообразные копры и другие устройства.

Силоизмерительные устройства регистрируют приложенную нагрузку. Силы, действующие на образцы, уравниваются так, чтобы их можно было измерить. Большое распространение получило уравнивание маятниковым противовесом. При этом величина усилия пропорциональна отклонению маятника. Отклонение маятника передаётся силоизмерительному устройству.

Во многих машинах уравнивающие и силоизмерительные устройства имеют устройства для вычерчивания диаграмм «нагрузка-деформация».

Для закрепления образцов в испытательных машинах используются опорно-захватные приспособления-захваты для растяжения, плиты для сжатия, зажимы для кручения, опоры для изгиба и другие.

Все перечисленные устройства крепятся на станине машины. Усилия, возникающие в образцах, уравниваются силой, действующей на станину.

Универсальная испытательная машина УИМ-50

Машина предназначена для статических испытаний материалов на растяжение, сжатие, изгиб и срез. Максимальное усилие, развиваемое машиной, равно 500 кН (50т).

Машина состоит из нагружающего устройства, силоизмерительного механизма и насоса. Кинематическая схема машины приведена на рисунке 1. Нагружающее устройство представляет собой жёсткую раму с четырьмя колоннами, смонтированными на станине 1. На верхней части рамы монтируется гидравлическая часть, состоящая из рабочего цилиндра 2, в котором перемещается цельный стальной поршень 3. На поршень опирается верхняя траверса 4, связанная двумя тросами с другой, подвижной, траверсой 5. При подъёме поршня 3 под действием масла, подаваемого под давлением в цилиндр 2, поднимается верхняя траверса, значит, и нижняя траверса 5. Траверса 5 является нижней опорой при испытаниях на сжатие и изгиб и несёт захват для установки образцов при растяжении. Расстояние между траверсами может изменяться в зависимости от длины образца. Для этого тросы выполнены с резьбой в верхней части, на которую посажены червячные шестерни, укреплённые на верхней траверсе 4. При помощи этих шестерен трос приводится в движение в вертикальном положении от червячного вала через насаженный на вал шкив.

В станине с помощью винта укреплен ползун 6, который служит нижним захватом при испытании на растяжение. Ползун можно вручную поднимать или опускать.

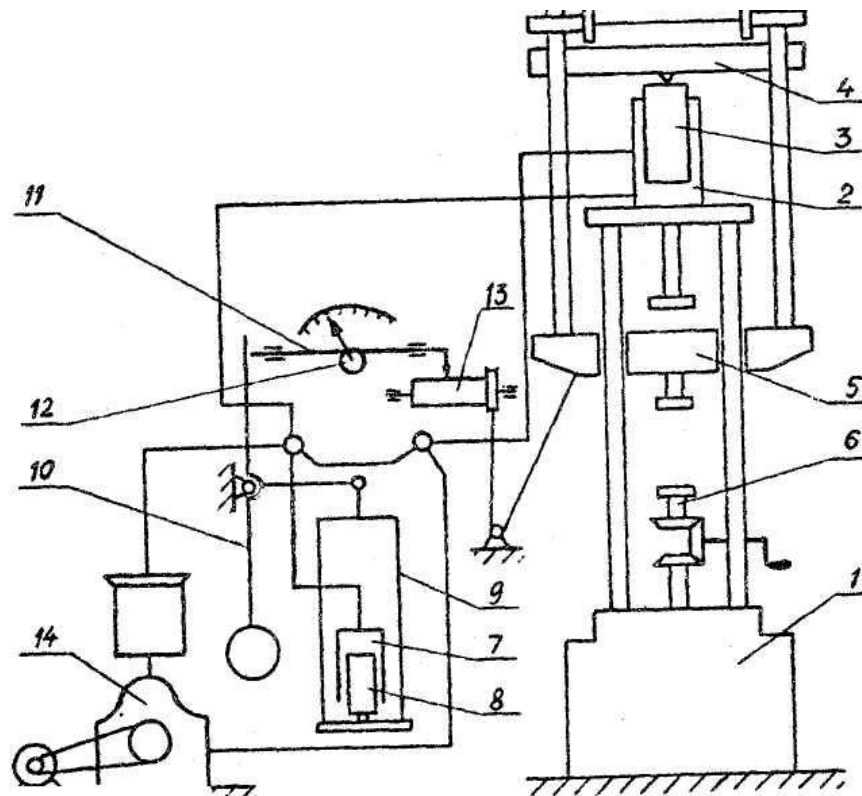


Рисунок 1- Схема универсальной испытательной машины УИМ-50

Для измерения, приложенного к образцу усилия служит маятниковый силоизмеритель. Масло из рабочего цилиндра 2 под давлением поступает в малый цилиндр 7 и оказывает давление на поршень 8. Через рамку 9 усилие передается маятнику 10, отклонение которого пропорционально усилию, развиваемого машиной. Отклонение маятника передается рейке 11, которая заставляет поворачиваться шестеренку 12 со стрелкой. Рейка связана с самописцем, вычерчивающим на барабане 13 диаграмму «усилие-деформация».

Барабан связан с подвижной траверсой 5 нитью. Поворот барабана пропорционален перемещению траверсы, значит, и деформации образца.

Машина имеет четыре диапазона нагрузок в зависимости от подвешивания груза на разном расстоянии от оси: 50 кН, 100 кН, 250 кН, 500 кН.

На станине силоизмерителя монтируются вентили впускной и выпускной, являющиеся органами управления машины. Если впускной вентиль (правый) открыт, то масло поступает через него в трубопровод и рабочий цилиндр 2 и поднимает поршень 3. Масло поступает в рабочий цилиндр только тогда, когда закрыт выпускной вентиль (левый). Он служит для выпуска масла из рабочего цилиндра в бачок и опускания поршня. От степени открытия впускного вентиля зависит скорость перемещения нижней траверсы 5. Трехпоршневой насос 14, подающий масло в цилиндр, приводится в действие электродвигателем через ременную передачу.

Машина разрывная Р – 10

Машина разрывная Р-10 предназначена для статических испытаний на растяжение, сжатие и изгиб.

Машина разрывная Р – 10 представляет собой установку, состоящую из нагружающего устройства и пульта управления. Нагружающее устройство предназначено для деформирования и разрушений испытываемого образца. Пульт управления служит для управления процессом нагружения образца и контроля за величинами нагрузок и деформаций.

Устройство машины показано на рисунке 2. Нагружающее устройство выполнено вертикальным с гидравлическим приводом верхнего захвата 1 и механическим приводом нижнего захвата 2. Станина 3 и траверса 4 соединены двумя колоннами 5. В траверсе 4 установлен рабочий цилиндр 6. На поршень 7 цилиндра через шаровую пяту опирается траверса 8, соединенная тягами 9 верхним захватом 1. Верхний захват направляется по колоннам 5 с помощью четырех роликов 10.

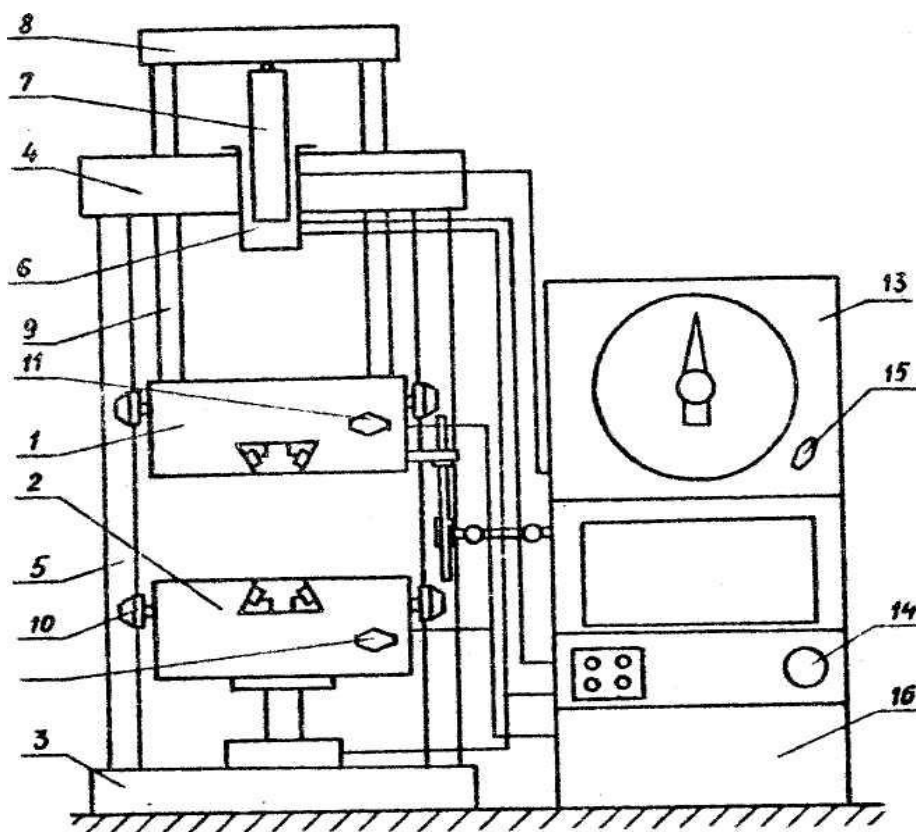


Рисунок 2- Разрывная машина Р-10

Нижний захват для его перемещения имеет механический привод, с помощью которого устанавливается необходимое пространство между захватами, соответствующее размерам испытываемого образца. Управление захватами гидравлическое - с помощью ручек 11, 12

золотников верхнего и нижнего захватов зажимается и разжимается образец.

При испытании на растяжение образец зажимают в захватах 1, 2. При испытании на сжатие образец ставится на нижнюю опору, установленную на верхний захват.

Пульт управления состоит из насосной установки 16, расположенной в нижней части пульта и включается масляный бак, блок электро - и гидроаппаратуры, и силоизмерительного блока 13. Масло из бака по трубопроводу через регулятор скорости поступает в рабочий цилиндр 6. Управление нагрузкой осуществляется с помощью дросселя регулятора скорости, перемещение которого производится рукояткой 14.

В силоизмерительной головке расположены торсионный силоизмеритель и диаграммный аппарат. Торсионный силоизмеритель имеет три силоизмерительных цилиндра, каждый из которых в зависимости от выбранного диапазона измерения нагрузок (0-25 кН, 0-50 кН, 0-100 кН) с помощью переключателя 15 подключается к рабочей полости цилиндра 6. Усилие от давления масла в силоизмерительных цилиндрах передается на рычаг, который закручивает торсион на угол, пропорциональный величине давления в цилиндре 6 или нагрузке на образце. Угол поворота торсиона с помощью толкателя и реечной передачи транспонируется в пропорциональный ему угол поворота стрелки шкалы нагрузок. При переключении диапазонов одновременно с переключением цилиндров происходит поворот подшкальника.

Диаграммный аппарат - барабанного типа. Вдоль образующей барабана по направляющим перемещается каретка с пером. Перемещение каретки осуществляется от шкива, связанного с осью стрелки, с помощью нити. Поворот барабана на угол, пропорциональный деформации образца, производится от перемещения активного захвата через реечный редуктор, карданный валик и цилиндрическую зубчатую передачу.

Машина ГЗИП для испытания на кручение моментом до 60 Нм

Устройство машины показано на рисунке 3. Машина установлена на чугунной станине и состоит из нагружающего, силоизмерительного механизмов и диаграммного аппарата. Образец закрепляется в захватах 1 с помощью клиновых сухарей. Левый захват насажен на нагружающий вал 2, который приводится во вращение через зубчатые передачи 3-4 или 5-6. Для медленного вращения используется червячная пара. Правый захват насажен на силоизмерительный валик 7, проходящий через подшипник. Последний прикреплен к тележке, которая движется на колесах по рамке стола станины. Положение тележки определяется длиной образца. На этой же

тележке расположен барабан 8 для автоматической записи усилий и деформаций.

Момент, приложенный к образцу, уравнивается отклонением маятника 14 от вертикали. Отклонение маятника прямо пропорционально приложенному к образцу моменту. Поворачиваясь, маятник своим верхним концом перемещает по роликам рейку 9, к концу которой прикреплен карандаш. Против рейки 9 имеется шкала с делениями, по которой определяют величину крутящего момента.

Автоматическая запись диаграммы "момент-угол поворота" при испытании образца производится с помощью устройства, состоящего из зубчатых передач, вала 10, червячной пары 11-12 и барабана 8, по которому перемещается карандаш 13. Угол поворота барабана пропорционален углу поворота левого захвата, а перемещение карандаша вдоль образующей барабана - величине момента. Диаграмма, вычерчиваемая на бумаге, которой перед опытом оборачивают барабан, представляет кривую $\varphi = f(T)$.

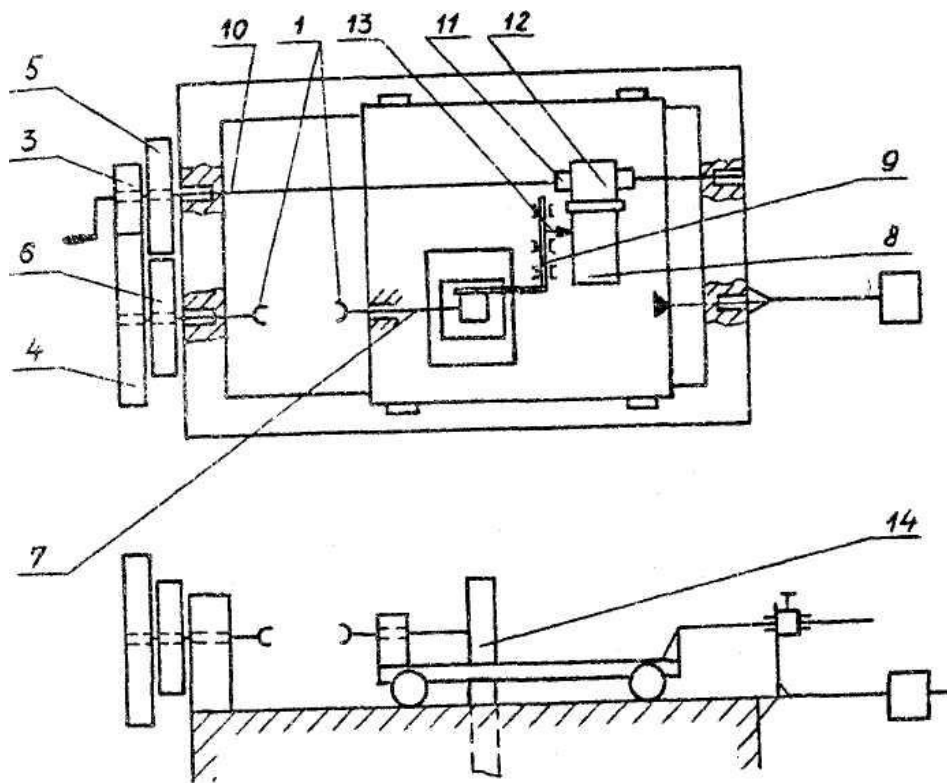


Рисунок 3- Схема машины ГЗИП для испытания на кручение

Приборы для измерения деформации

Приборы для измерения малых деформаций называются тензометрами. Расстояние (ℓ) между двумя точками, изменение которого измеряет тензومتر, называется его базой. Любой тензومتر состоит

из: устройств, воспринимающих деформацию и устройства для отсчета или регистрации показаний.

Тензометры разделяются на: механические (включая сюда и различные оптико-механические приборы) и электрические.

Зеркальный тензометр

Зеркальный тензометр применяется для измерения упругих деформаций в образцах.

Принципиальная схема тензометра показана на рисунке 4. Пластина 1 прибора прижимается к образцу при помощи струбцинки 2. На одном конце пластинки имеется неподвижный нож, на другом конце между пластинкой и образцом зажимается призма 3 ромбического сечения. Расстояние ℓ между ножом и ребром призмы является базой прибора. Набор пластинок, входящих в комплект тензометра, позволяет получить базы 50, 100, 150 и 200 мм.

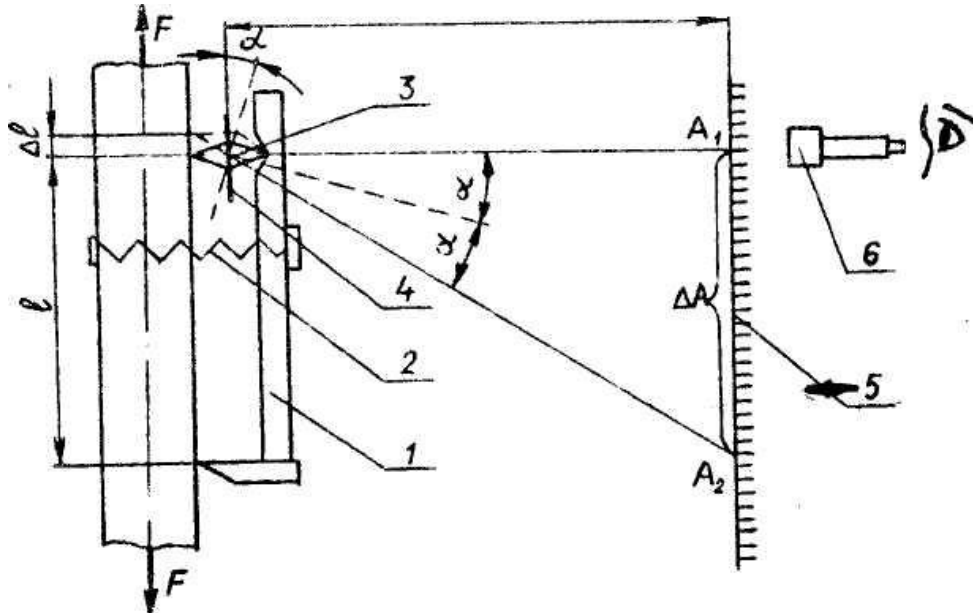


Рисунок 4 - Схема зеркального тензометра

При деформации образца призма 3 поворачивается вокруг ребра, соприкасающегося с пластинкой, на угол α и деформация волокна в пределах базы равна

$$\Delta \ell = d \sin \alpha, \quad (1)$$

где d - длина большей диагонали сечения призмы 3.

На одной оси с подвижной призмой 3 установлено зеркальце 4. Перед зеркалом на расстоянии L от него устанавливается рейка 5. Рядом с рейкой устанавливается зрительная труба 6, через которую наблюдается отраженная в зеркальце рейка.

Пусть до приложения нагрузки деление A_1 шкалы проектируется по нормали на зеркало 6 и по той же нормали отражается в

зрительную трубу. После удлинения же образца на величину Δl зеркало вместе с призмой повернется на угол α , наблюдатель фиксирует отсчет A_2 . Луч, падающий на зеркало от деления A_2 , и луч, отраженный от зеркала, составляют угол $2\alpha_0$. Следовательно,

$$\Delta A = L \operatorname{tg} 2\alpha \quad (2)$$

При удлинении образца на длине базы прибора на A получается приращение отсчетов по шкале ΔA . Коэффициент увеличения прибора равен

(3)

$$K = \frac{\Delta A}{\Delta l} = \frac{L \operatorname{tg} 2\alpha}{d \sin \alpha}$$

В силу малости упругих деформаций и, соответственно, угла α принимают $\operatorname{tg} 2\alpha = 2\alpha$, $\sin \alpha = \alpha$, Тогда

$$K = \frac{2L}{d} \quad (4)$$

Обычно расстояние L , выбирают таким, чтобы коэффициент увеличения прибора имел значение $K = 500$.

Преимуществом зеркального тензомера является возможность получить различный коэффициент увеличения, недостатком - громоздкость, чувствительность к толчкам, сложность настройки.

Рычажный тензомер

Наиболее распространенным из механических тензометров является рычажный тензомер Гугенбергера. Схема прибора показана на рисунке 5.

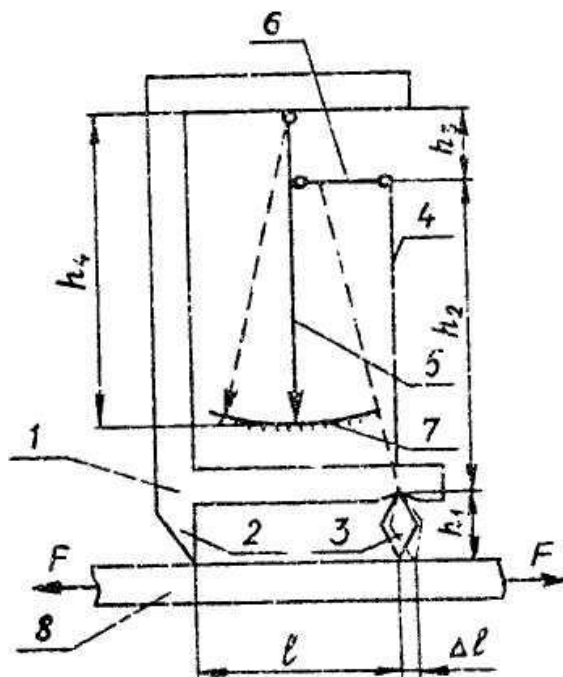


Рисунок 5 - Схема рычажного тензомера Гугенбергера

К рамке 1 прибора жестко прикреплен нож 2. На двугранный паз рамки опирается подвижная призма 3. Рамка 1 и подвижная призма 3 являются частью прибора, воспринимающей деформацию. Расстояние между нижним ребром призмы 3 и острием ножа 2 является базой прибора. Тензометр обычно имеет базу 20 мм. Присоединением специального удлинителя база может быть увеличена до любых размеров в пределах 50...100 мм. Рычаг 4, жестко соединенный с призмой 3, и стрелка 5, шарнирно соединенная с рычагом 4 тягой 6, составляют часть прибора, увеличивающую деформацию.

Стрелка 5 верхним концом шарнирно прикреплена к рамке, а другой ее конец скользит по шкале 7. Прибор с помощью струбцинки прикрепляется к испытываемому образцу 8. При изменении длины ℓ образца на величину $\Delta \ell$ подвижная призма вместе с рычагом 4 поворачивается, тяга 6 отклоняет стрелку 5. При этом нижний конец стрелки переместится по шкале с отсчета A_1 на отсчет A_2 на величину ΔA . Разность отсчетов ΔA пропорциональна удлинению $\Delta \ell$. Из схемы видно, что коэффициент увеличения прибора зависит от соотношения плеч рычагов 4, 6 и равняется

$$k = \frac{\Delta A}{\Delta \ell} = \frac{h_2 h_4}{h_1 h_3} . \quad (5)$$

Соотношение плеч рычагов прибора таково, что коэффициент увеличения $k = 1000$.

Электрические тензометры

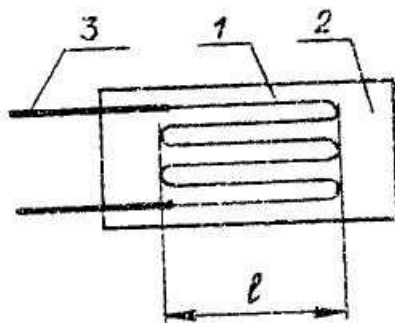
К электрическим тензометрам относятся приборы, в которых деформация преобразуется в какую-нибудь электрическую величину, измеряемую электроприборами: омическое сопротивление, емкость, сила тока и т. д.

В электрических тензометрах различают две основные части: датчики и регистрирующее устройство.

Наибольшее распространение получили электрические тензометры, использующие в качестве воспринимающего устройства тензодатчики сопротивления (тензорезисторы). Датчик представляет собой проволочную решетку из константановой, манганиновой или нихромовой проволоки диаметром 0,02 - 0,05 мм, вклеенных между двумя полосками бумаги 2 и присоединенных к выводам 3 (рисунок 6). Тензодатчик наклеивается на исследуемую деталь и деформируется вместе с ней. При деформации датчика изменяется длина, и площадь поперечного сечения проволоки, что приводит к изменению сопротивления датчика. Опыт показывает, что относительное изменение сопротивления ΔR тензодатчика прямо пропорционально относительной деформации ε :

$$\Delta R = K_t \varepsilon R , \quad (6)$$

где R - омическое сопротивление датчика;
 K_T - коэффициент тензочувствительности
 (обычно $K_T = 2$ для наиболее распространенных проволоочных тензодатчиков базой $\ell = 10-20$ мм).



1- проволоочная решетка; 2-подложка; 3- выводные проводники

Рисунок 6 - Схема тензодатчика

Таким образом, измерение деформации сводится к измерению сопротивления тензодатчика. Для измерения сопротивления применяются электромосты постоянного или переменного тока. Наиболее часто используются две схемы мостов: схема неуравновешенного моста (метод непосредственного измерения) и схема уравновешенного моста (метод нулевого измерения).

Более простой и широко применяемой схемой является схема неуравновешенного моста, составляемая, обычно, из четырех датчиков равного сопротивления (рисунок 7а). Одним из плеч моста является сопротивление рабочего, или активного, тензодатчика $R_1 = R$, а остальные датчики наклонены на недеформируемую поверхность. К одной диагонали моста подключается источник питания (ИП), к другой - прибор для регистрации тока (гальванометр) Г.

Перед измерением мост балансируется так, чтобы в измерительной диагонали ток был равен нулю, что достигается при выполнении соотношения.

$$R_1 R_3 = R_2 R_4. \quad (7)$$

Для исключения погрешностей из-за температурного изменения сопротивления активного датчика, в другое плечо моста подключается компенсационный датчик (R_4) с сопротивлением

$$R_4 = R_1 = R. \quad (8)$$

Он приклеивается на недеформируемой части образца вблизи активного датчика, чтобы изменения температуры действовали на оба датчика. Из приведенного выше соотношения вытекает $R_1 = R_3 = R$.

При деформации активного датчика вместе с образцом балансировка моста нарушится и в измерительной диагонали пойдет ток

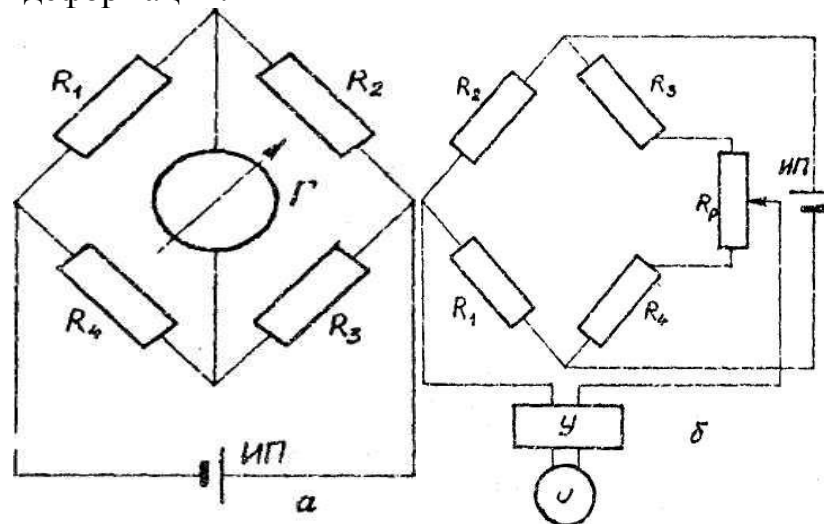
$$J = \frac{E}{2 \cdot (R + R_a)} \cdot \frac{\Delta R_a}{R_a} \quad (9)$$

Ток в диагонали моста прямо пропорционален изменению сопротивления тензодатчика и следовательно, измеряемой

деформации. По показателям прибора (гальванометра) судят о деформациях испытуемого образца. Метод непосредственного измерения применяется для измерения и непрерывной записи деформаций в быстро протекающих процессах с использованием усилителей и шлейфовых осциллографов.

Для измерения деформаций при статических нагрузках чаще применяют нулевой метод. При методе нулевого измерения мост, разбалансированный из-за деформации активного датчика, снова балансируется изменением плеч R_3 и R_4 .

Вторая балансировка осуществляется при помощи реохорда R_p . Шкала реохорда градуируется в величинах относительной деформации. При первой балансировке (до нагружения) фиксируют показания прибора, затем тоже после второй балансировки при нагруженном образце. Разность показаний прибора дает величину относительной деформации.



а - по методу непосредственного измерения, б - по нулевому методу
Рисунок 7 - Схемы измерительных мостов

Электрические тензодатчики перед измерением деформаций тарируются. Тарировка тензометров заключается в определении цены деления регистрирующих приборов или коэффициента тензочувствительности датчиков.

Контрольные вопросы

1. Опишите принципиальную схему устройства испытательных машин УИМ-50 и Р-10.
2. Как устроен нагружающий механизм испытательной машины УИМ-50?
3. Как работает силоизмерительное устройство испытательной машины УИМ-50?
4. Каково устройство опорно-захватных приспособлений?
5. Как устроен и работает рычажный тензометр Гугенбергера?
6. Как устроен и работает тензорезистор?
7. Описать принципиальную схему измерительного моста.

Лабораторная работа №2

ИСПЫТАНИЕ МЕТАЛЛА НА РАСТЯЖЕНИЕ

Цель работы. Изучение поведения пластичной стали при растяжении до разрушения и определение основных механических характеристик.

Постановка работы. Испытание проводится на испытательной разрывной машине УИМ-50, которая позволяет вычертить диаграмму растяжения, то есть график, связывающий нагрузку к деформации образца. Образец имеет цилиндрическую форму с головками на концах для закрепления его в захватах машины. Вид образца до и после испытания показан на рисунке 8.

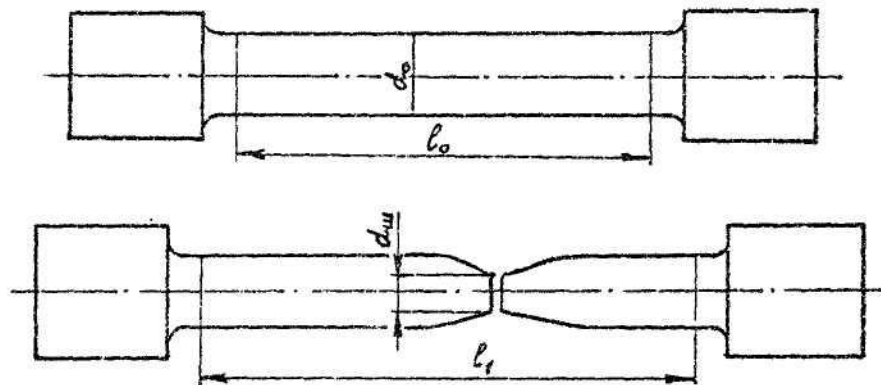


Рисунок 8 - Образец до и после испытания на растяжение

Образец закрепляется в захватах машины и плавным увеличением усилия нагружается до разрушения, записывая при этом диаграмму растяжения (рисунок 9).

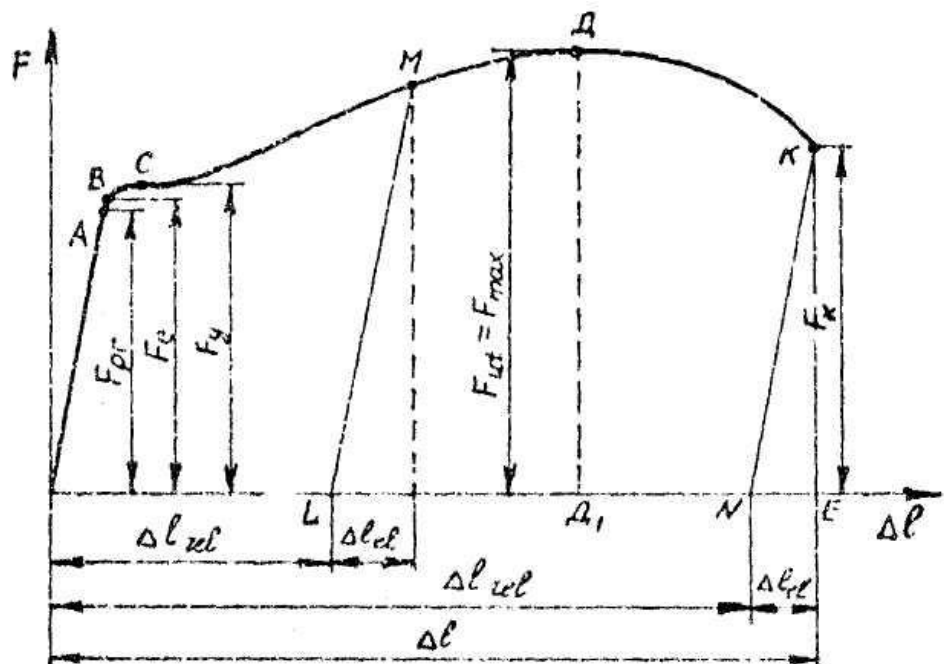


Рисунок 9 - Диаграмма растяжения пластичного материала

На диаграмме можно отметить характерные точки и участки. Вначале нагружения (участок OA) диаграмма вычерчивается прямой

линией, то есть деформация прямо пропорциональна силе. Точка A представляет собой величину растягивающей силы F_{p2} , соответствующей пределу пропорциональности, выше которого нарушается справедливость закона Гука. Точка B диаграммы характерна тем, что до этого предела в образце возникают только упругие деформации. Если в любой точке участка OB образец разгрузить, деформация полностью исчезнет. Ординату точки B обозначают F_e , эта нагрузка соответствует пределу упругости материала.

При дальнейшем увеличении нагрузки диаграмма получает криволинейное очертание (участок BC), т.к. в образце появляются пластические деформации. В точке C на диаграмме начинается горизонтальная площадка, это площадка текучести. При нагрузке (точка C), которую называют нагрузкой текучести F_y , материал «течет», то есть увеличение деформации происходит при постоянной нагрузке.

После образования площадки текучести нагрузка снова возрастает, но менее круто, чем на участке OA . Этот рост продолжается до точки D . На участке OD деформация образца по всей длине рабочей части одинакова. После точки D на образце появляется местное сужение - шейка, сечение образца быстро уменьшается, и для дальнейшего деформирования и разрушения образца требуется все меньшее усилие. Поэтому разрушение происходит не при наибольшей нагрузке F_{max} , а при меньшей - F_k .

Обычно диаграмму растяжения перестраивают в диаграмму напряжений, деля ординаты на первоначальную площадь сечения A_0 , а абсциссы - на длину рабочей части образца ℓ . Ординаты характерных точек диаграммы напряжений характеризуют прочностные свойства материала.

Пределом пропорциональности называется наибольшее напряжение, до которого деформация образца прямо пропорциональна нагрузке, то есть справедлив закон Гука

$$\sigma_{p2} = \frac{F_{p2}}{A_0}. \quad (10)$$

Пределом упругости называется наибольшее напряжение, до которого в материале возникает только упругая деформация

$$\sigma_e = \frac{F_e}{A_0}. \quad (11)$$

Пределом текучести называется напряжение, при котором деформация возрастает без заметного увеличения нагрузки

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_0}. \quad (12)$$

Пределом прочности называется напряжение, соответствующее максимальной нагрузке, которую выдержал образец

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_0}. \quad (13)$$

Все эти величины являются условными, так как в расчет берется начальная площадь поперечного сечения образца.

Для материалов, у которых явно выраженная площадка текучести отсутствует, величину условного предела текучести $\sigma_{0,2}$ определяют как напряжение, при котором остаточная деформация равна 0,2%.

Как было отмечено выше, до точки B возникают только упругие, а после точки B появляются остаточные деформации. Однако упругая деформация существует и после точки B . Если образец разгрузить в точке M диаграммы (рисунок 9), то линия разгрузки ML будет параллельна OA . Часть деформации – упругая $\Delta\ell_{el}$ исчезает и остается пластическая деформация $\Delta\ell_{rel}$. Если же образец нагрузить снова, то повторное нагружение пойдет по линии LM , то есть увеличивается прямолинейный участок диаграммы и повышается предел пропорциональности до того напряжения, с которого была начата разгрузка. Остаточная деформация образца уменьшается на величину отрезка OL . Такое изменение свойств и состояния металла называется наклепом.

Для определения величин, характеризующих пластичность материала, обе части разрушенного образца соединяют и измеряют расстояние между рисками ℓ_1 и диаметр шейки по месту разрыва. Относительное остаточное удлинение определяется как отношение остаточного удлинения после разрыва к начальной длине рабочей части образца

$$\sigma = \frac{\ell_1 - \ell_0}{\ell_0} 100\% = \frac{\Delta\ell_{rel}}{\ell_0} 100\%. \quad (14)$$

Относительное остаточное сужение определяется как отношение разности площадей поперечных сечений образца до опыта A_0 и после опыта в месте разрыва A_u к первоначальной площади сечения

$$\varphi = \frac{A_0 - A_u}{A_0} 100\% \quad (15)$$

Обе эти величины характеризуют способность материала давать остаточную деформацию с большей или меньшей степени, прежде чем наступает разрушение. Для оценки качества материала определяют удельную работу растяжения как отношение полной работы W , затраченной на разрушение образца, к объему рабочей части образца V_0 .

$$a = \frac{W}{V_0}. \quad (16)$$

Эта величина характеризует способность материала образца сопротивляться ударным внезапно приложенным нагрузкам. Величина

полной работы, затраченной на разрыв образца, графически изображается площадью диаграммы растяжения $OABCDKE$ с учетом масштабов сил и удлинений.

Порядок выполнения работы. Сначала измеряется диаметр образца, и длина его рабочей части. Далее образец устанавливается в захватах машины, барабан диаграммного аппарата заправляется бумагой и включается машина. В процессе плавного нагружения ведется наблюдение за шкалой, диаграммой и поведением образца. Особенно следует обратить внимание на явление текучести и образование шейки на образце. При достижении нагрузки площадки текучести стрелка силоизмерительного устройства будет стоять на месте (или слегка падать), а с начала появления шейки стрелка резко пойдет вниз. После разрушения образца по контрольной стрелке записывается значение максимального усилия $F_{ut}=F_{max}$. Далее измеряют разорванный образец: определяют диаметр шейки d_u и длину образца после разрыва ℓ_1 . Затем обрабатывают диаграмму растяжения, определив масштаб сил делением максимального усилия F_{ut} на ординату точки максимума диаграммы

$$m_F = \frac{F_{ut}}{DD_1}, \quad (17)$$

и масштаб удлинений делением остаточного удлинения на длину отрезка ON

$$m_{\Delta\ell} = \frac{\Delta\ell_{rel}}{ON} = \frac{\ell_1 - \ell_0}{ON} \quad (18)$$

По величинам масштабов определяют значение F_y , F_{ut} , F_{pe} , W . Устанавливают характеристики прочности σ_{Pl} , σ_y , σ_{ut} , пластичности δ , ψ и удельную работу растяжения a . В журналах нужно зарисовать диаграмму растяжений и эскиз образца до и после испытаний.

По результатам испытаний определяют примерно марку стали, оценивают ее качество, и указывают область ее применения.

Контрольные вопросы

1. Что называется диаграммой растяжения?
2. Какой вид имеет диаграмма растяжения пластичных материалов?
3. В каких пределах справедлив закон Гука?
4. Что называется упругой деформацией?
5. Что называется текучестью?
6. Дайте определения основных прочностных характеристик материалов.
7. Как определяются упругая и остаточная деформации за пределом упругости?
8. Как определяются характеристики пластичности материала?

Содержание отчёта:

Лабораторная работа № 2

Дата «__» _____ 20__ г.

Испытание металла на растяжение

Цель работы:

- 1.Получить диаграмму растяжения;
- 2.Определить характеристики прочности материала;
- 3.Определить характеристики пластичности материала.

Оборудование и приборы

1. Разрывная машина с силоизмерительным устройством УИМ-50;
2. Штангенциркуль;
3. Образцы (сталь).

Нарисовать эскиз образца:

Испытательная машина _____ шкала _____

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

1. Исходные характеристики образца

Материал	Начальный диаметр d_0	Начальная длина ℓ_0	Площадь поперечного сечения A_0
	м	м	м ²

2. Экспериментальные данные

Нагрузка пропорциональности $F_{\rho\chi}$	Нагрузка текучести F_y	Нагрузка прочности F_u	Диаметр шейки образца $d_{ш}$	Длина после разрыва ℓ_k	Площадь поперечного сечения шейки $A_{ш}$
кН	кН	кН	м	м	м ²

ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. Предел пропорциональности

$$\sigma_{\rho\text{ч}} = \frac{F_{\rho\text{ч}}}{A_0} =$$

МПа.

2. Предел текучести

$$\sigma_y = \frac{F_{\text{ч}}}{A_0} =$$

МПа.

3. Предел прочности

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_0} =$$

МПа.

4. Относительное удлинение

$$\varepsilon_{\kappa} = \frac{\Delta \ell}{\ell_0} \cdot 100 =$$

%.

5. Относительное сужение

$$\Psi = \frac{\Delta A}{A} \cdot 100 =$$

%.

6. Определенная сила

$$F_{cp} = \frac{F_{\rho\text{ч}} + F_u}{2} =$$

кН.

7. Абсолютное удлинение

$$\Delta \ell = \ell_{\kappa} - \ell_0 =$$

м.

8. Полная работа деформации

$$W = F_{cp} \cdot \Delta \ell =$$

кН·м

Приведенная диаграмма растяжения

Масштаб диаграммы: напряжений _____ МПа в 1 см,

отн. удлинений _____ % в 1 см.

ВЫВОДЫ:

Исполнитель _____

Руководитель _____

Лабораторная работа № 3

ИСПЫТАНИЕ МЕТАЛЛА НА СЖАТИЕ

Цель работы. Изучение поведения пластичных и хрупких материалов при сжатии и определение их прочностных характеристик.

Постановка работы. Различные материалы при нагружении обнаруживают различное механическое поведение. По этому признаку все материалы делятся на пластичные и хрупкие.

Пластичными называются материалы, которые при нагружении способны получать большие остаточные (пластичные) деформации.

Хрупкими называются материалы, которые разрушаются при малых деформациях, причем остаточных деформаций практически не возникает,

К пластичным материалам относится большинство металлов (малоуглеродистая сталь, медь, алюминий), а к хрупким относятся высокоуглеродистые стали, чугун, бетон, строительные камни. Пластичные материалы хорошо сопротивляются растяжению и сжатию, а хрупкие достаточно хорошо сопротивляются сжатию, очень слабо сопротивляются растягивающим нагрузкам. Поэтому хрупкие материалы применяются в элементах конструкций, работающих на сжатие.

Испытаниям на сжатие подвергаются образцы из следующих материалов: медь или алюминий, чугун. Образцы для испытаний на сжатие изготавливаются в виде цилиндров с высотой h , примерно в полтора - два раза превышающей диаметр d (рисунок 10). При больших высотах возможна потеря устойчивости.

Испытание производится на разрывной машине УИМ-50, на которой можно автоматически вычерчивать диаграмму сжатия.

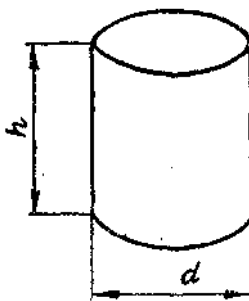


Рисунок 10- Образец для испытания на сжатие

Сжатие пластичных материалов. Образец закладывается между плитами разрывной машины и постепенно нагружается. Диаграммный аппарат вычерчивает диаграмму сжатия, которая показана на рисунке 11.

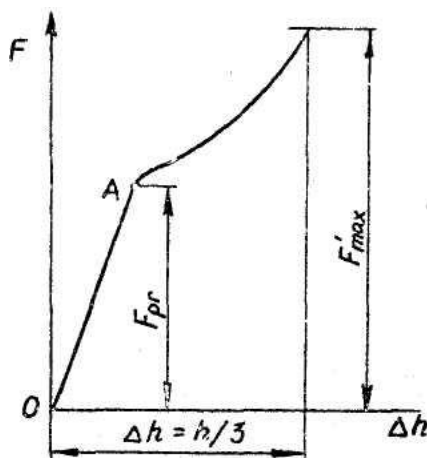


Рисунок 11- Диаграмма сжатия пластичного материала

На начальном участке диаграмма сжатия идет по прямой OA , как и при растяжении, что выражает прямолинейную зависимость между нагрузкой и деформацией (рисунок 11). Точка A соответствует пределу пропорциональности материала, после которого на диаграмме отмечается участок более быстрого возрастания деформации. Но площадки текучести, как и при растяжении, не наблюдается, наоборот, за этим участком диаграмма продолжает идти вверх по более крутой к этой линии. Это объясняется тем, что за пределом пропорциональности с быстрым ростом пластических деформаций происходит увеличение поперечного сечения образца, и образец становится способным выдерживать всё большую нагрузку. Из-за трения на торцах образца сечение увеличивается неодинаково по высоте образца, и он принимает бочкообразную форму (рисунок 12). Образец может быть сплюснен в лепешку, но разрушить образец не удастся. Лишь в некоторых случаях (при недостаточной пластичности материала) на боковой поверхности появляются мелкие трещины, не приводящие к разрушению образца. Поэтому не может быть определена величина предела прочности пластичного материала при сжатии. Единственная механическая характеристика пластичного материала при сжатии - это предел пропорциональности, которая определяется как отношение величины силы F_{pc} к первоначальной площади поперечного сечения образца A_0 :

$$\sigma_p = \frac{F_{pc}}{A_0}. \quad (19)$$



а - пластичный материал; б - хрупкий материал

Рисунок 12 - Изменение формы образцов при сжатии

Иногда определяют условный предел текучести, как отношение нагрузки, соответствующей уменьшению на $1/3$ высоты образца, к первоначальной площади сечения.

Сжатие чугуна. Испытание образца производится в том же порядке, что и испытание пластичного образца. Диаграмма сжатия чугуна имеет вид, показанный на рисунке 13. Вначале диаграмма почти прямолинейна, затем она искривляется, достигая максимума и резко обрывается. Нагрузка, достигнув разрушающего значения, быстро падает, следовательно, грузоподъемность образца исчерпана. Чугунный образец под действием сжимающих сил принимает слегка бочкообразную форму, что указывает на наличие пластичных деформаций (рисунок 12). В момент наибольшего значения нагрузки происходит разрушение образца с появлением на поверхности ряда наклонных трещин (рисунок 12). Трещины располагаются примерно под углом 45° к образующей цилиндра, то есть по линии действия наибольших касательных напряжений. Происходит сдвиг одной части по отношению к другой. Разрушение образца происходит внезапно, чем объясняется резкое падение нагрузки. В результате испытания на сжатие хрупких материалов можно определить единственную характеристику - предел прочности при сжатии

$$\sigma_{uc} = \frac{F_{P2}}{A_0} \quad (20)$$

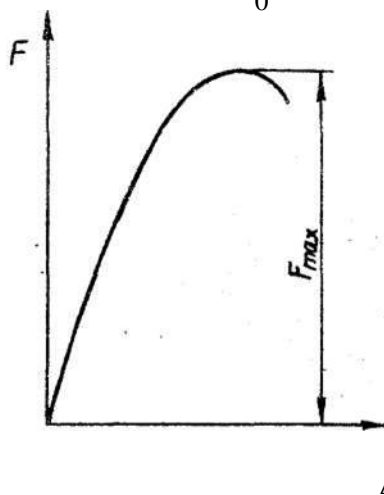


Рисунок 13 - Диаграмма сжатия хрупкого материала

Порядок проведения работы. Механические характеристики, определяемые при сжатии, зависят не только от материала, но и от формы и размеров образца. Поэтому при испытании применяются образцы строго установленных размеров.

Образцы различных материалов испытывают на сжатие.

При этом образцы нужно устанавливать строго по центру площадки опор. Диаграммы сжатия записываются на одной бумаге. При испытании пластичного материала, нагружение останавливают после того, как образец сожмется на $1/3$

первоначальной высоты. После испытаний образцы следует зарисовать.

Обработка результатов заключается в определении характерных нагрузок и по ним - прочностных характеристик материалов.

На основании полученных результатов нужно дать сравнительную оценку поведения при сжатии хрупких и пластичных материалов и их сравнительные характеристики.

Контрольные вопросы

1. Какие материалы называются пластичными, хрупкими?
2. Опишите диаграмму сжатия пластичных и хрупких материалов?
3. Какие механические характеристики определяются при сжатии пластичных и хрупких материалов?
4. Опишите картину деформирования и разрушения различных материалов при сжатии?
5. Какова причина разрушения хрупких материалов при сжатии?
6. Почему пластичные образцы не разрушаются при сжатии?

Содержание отчёта:

Лабораторная работа № 3

Дата « ____ » _____ 20 __ г.

Испытание металла на сжатие

Цель работы: исследование поведения материала при сжатии и определение характеристик прочности.

Оборудование: машина УИМ-50, образцы стандартные, штангенциркуль.

Содержание работы: сравнительное изучение свойств пластических и хрупких металлов при испытании на сжатие.

Испытательная машина _____ шкала _____

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

1. Исходные характеристики образцов

Номер образца	Материал	Диаметр d_0	Высота образца h_0	Площадь поперечного сечения A_0
		м	м	м ²

2. Эскизы образцов до испытания

3. Экспериментальные данные

Номер образца	Материал	Нагрузка текучести F_y	Нагрузка прочности F_u	Высота образца после испыт. h	Укорочение образца Δh
		кН	кН	м	м

Эскизы образцов после испытания

Диаграмма сжатия

 $F, \text{кН}$

 $h, \text{М}$

Масштаб диаграммы: нагрузка _____ кН в 1 см,
укорочений _____ м в 1 см.

4. Результаты испытаний
предел текучести (пластичный материал)

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_0} \quad \text{МПа,}$$

предел прочности (хрупкий материал)

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_0} \quad \text{МПа.}$$

Исполнитель _____

Руководитель _____

Лабораторная работа №4

ИСПЫТАНИЕ ДРЕВЕСИНЫ НА СЖАТИЕ И
СКАЛЫВАНИЕ

Цель работы. Изучение поведения дерева при сжатии вдоль и поперек волокон и сопротивления древесины скалыванию, определение основных характеристик прочности дерева при сжатии вдоль и поперек волокон и скалывании.

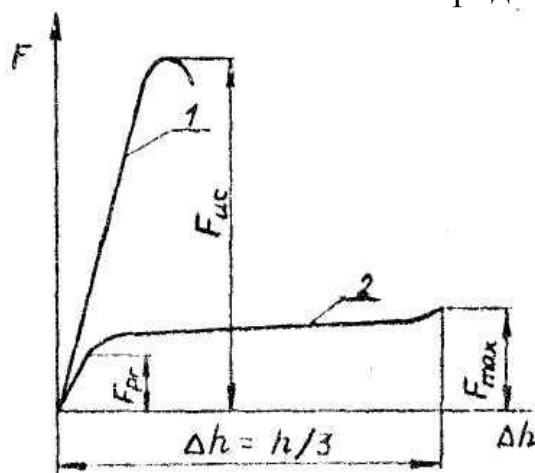
Постановка работы. Дерево относится к анизотропным материалам, то есть к материалам, имеющим неодинаковые механические свойства в различных направлениях. Поэтому испытание дерева на сжатие проводят вдоль и поперек волокон.

1. Сжатие дерева вдоль и поперек волокон. Для испытания дерева на сжатие изготавливают образцы кубической формы стандартных размеров.

Диаграммы сжатия дерева показаны на рисунке 14. При сжатии вдоль волокон образец до разрушения претерпевает сравнительно небольшие остаточные деформации. При максимальной нагрузке F_{uc} начинается разрушение образца с последующим падением нагрузки. Разрушение происходит с образованием поперечных складок и обмятием торцов, нередко при наличии сучков особенно, образуются продольные трещины. Изменение формы образцов дерева при сжатии вдоль волокон показано на рисунок 15.

По данным эксперимента определяется предел прочности дерева при сжатии вдоль волокон

$$\sigma_{uc} = \frac{F_{uc}}{A_0}. \quad (21)$$



- 1- вдоль волокон,
2- поперек волокон

Рисунок 14. Диаграмма сжатия дерева

Нагрузку, соответствующую пределу пропорциональности, установить по диаграмме сжатия обычно не удастся.

При сжатии дерева поперек волокон диаграмма сжатия имеет другой характер (рисунок 14). Сначала диаграмма идет по прямой до нагрузки F_{pr} , соответствующей пределу пропорциональности. Затем диаграмма очерчивается слабоизогнутой кривой, почти

параллельной оси абсцисс. Кубик быстро деформируется почти без увеличения нагрузки. При отсутствии пороков в древесине (сучки, косослой) разрушение образца не происходит, он просто спрессовывается (рисунок 15). Это позволяет считать, что грузоподъемность образца исчерпана. Принято брать за условную разрушающую нагрузку ту, при которой кубик сожмется на 1/3 первоначальной высоты. По результатам испытаний определяют значение условного предела прочности:

$$\sigma_{uc} = \frac{F_{\max}}{A_0} \quad (22)$$

Обычно прочность дерева при сжатии его вдоль волокон в 8...10 раз выше, чем при сжатии поперек волокон.

2. Испытание древесины на скалывание. Учитывая анизотропность дерева, различают следующие виды сдвига древесины в испытываемых образцах:

а) скалывание вдоль волокон, подразделяемое по ориентировке плоскости скалывания, на скалывание то тангенциальной плоскости (рисунок 16а) и на скалывание по радиальной плоскости (рисунок 16б);

б) скалывание поперек волокон, подразделяемое на скалывание по тангенциальной и радиальной плоскостям (рисунок 16в,г).

В пределах одного и того же вида сдвига разница между прочностью в радиальном и тангенциальном направлениях для древесины хвойных пород сравнительно незначительна.

Форма и размеры стандартных образцов показаны на рисунке 16.

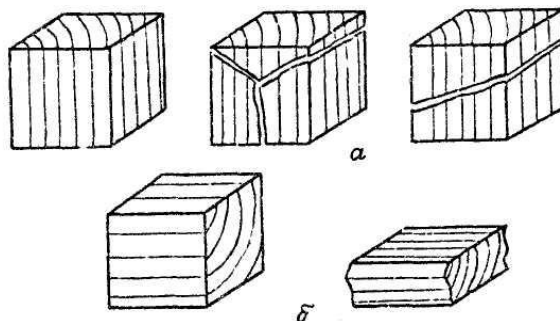
Для испытания на скалывание вдоль волокон применяют специальное приспособление, которое показано на рисунке 17. При испытании же поперек волокон применяют подобное приспособление, размеры которого на рисунке 17 указаны в скобках.

При проведении испытаний нужно следить за тем, чтобы вертикальная и горизонтальная плоскости образцов прилегали к соответствующим поверхностям подвижной опоры 1. Этому добиваются с помощью установочного винта 2. Зажим опоры и образца винтом 2 не допускается.

Прибор с образцом устанавливается на нижнюю опору испытательной машины так, чтобы центр верхней плоскости образца находился посередине верхней плиты машины. При проведении испытаний необходимо внимательно следить за показаниями стрелки силоизмерительного устройства машины и поведением образца. При достижении максимального значения нагрузки образец разрушается с треском, распадаясь на две части, и нагрузка мгновенно падает. По окончании испытаний подсчитывают пределы прочности для каждого вида испытаний

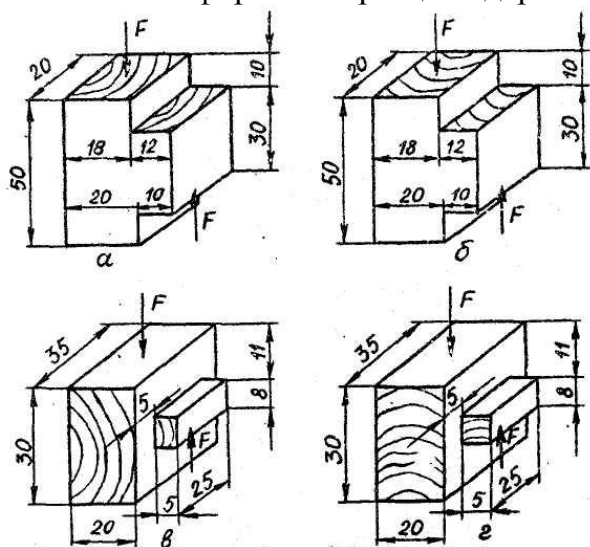
$$\tau_u = \frac{F_{\max}}{A}, \quad (23)$$

где F_{\max} - значение максимального усилия при испытании;
 A - площадь скалывания (среза) образца.



*а - вдоль волокон,
 б - поперек волокон*

Рисунок 15 - Изменение формы образцов дерева при сжатии



а, б - вдоль волокон; в, г - поперек волокон.

Рисунок 16 - Образцы и виды скалывания древесины

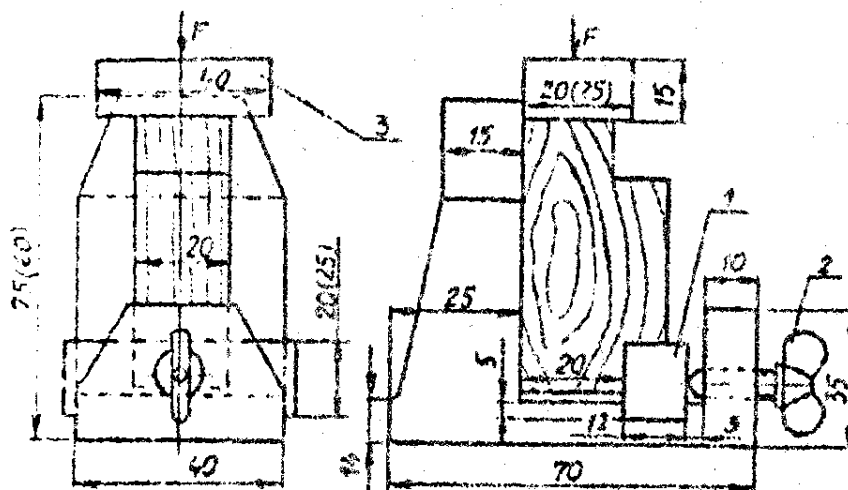


Рисунок 17 - Приспособление для испытания древесины на скалывание

Свойство древесины каждой породы при прочих равных условиях существенно зависит от ее влажности. При понижении влажности происходит повышение прочности древесины, начиная с влажности - ~30%, которой соответствует насыщение волокон водой. Стандартный предел прочности древесины при 15% влажности определяется по формуле:

$$\sigma_{15} = \sigma_u(1 + k_{сж}(B - 15)), \quad (24)$$

где B - процент влажности древесины испытуемого образца,
 k - коэффициент, показывающий изменение характеристик прочности древесины в зависимости от ее влажности, ($k = 0,04$ при изгибе, $k = 0,06$ при сжатии, $k = 0,05$ при скалывании).

Порядок проведения работы. Образцы испытывают на сжатие и на скалывание. При этом образцы на сжатие устанавливают строго по центру опорной площади, а на скалывание - как указано выше. При испытании дерева поперек волокон нагружение образца останавливают после того, как образец сожмется на треть от первоначальной высоты. После испытаний следует зарисовать образцы.

Обработка результатов заключается в определении характерных нагрузок и по ним - характеристик прочности дерева при различных видах деформаций при влажностях, соответствующих влажности испытанного образца и при 15% влажности.

На основании полученных результатов сравнить сопротивление сжатию дерева вдоль и поперек волокон.

Контрольные вопросы

1. Какие материалы называются анизотропными?
2. Опишите диаграммы сжатия дерева вдоль и поперек волокон.
3. Какие механические характеристики определяются при сжатии дерева?
4. Опишите картину деформирования и разрушения дерева при сжатии вдоль и поперек волокон.
5. Какие различают виды скалывания древесины?
6. Какую характеристику прочности определяют при скалывании и она определяется?
7. Как влияет влажность древесины на характеристики ее прочности?

Содержание отчёта:

Лабораторная работа № 4

Дата «___» _____ 20__ г

Испытание древесины на сжатие и скалывание

Цель работы: исследование поведения материала при сжатии и определение характеристик прочности.

Оборудование: машина УИМ-50, образцы стандартные, штангенциркуль.

Содержание работы: определить прочностные свойства древесины при испытании на сжатие вдоль и поперек волокон.

Эскизы образцов с указанием размеров:

Сжатие

Скалывание

Испытательная машина _____

шкала _____

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

1. Исходные характеристики образцов

№ № п/п	Порода древесины	Влажность B	Обмер образцов			Площадь сечения A_0
			Высота h_0	Ширина b	Длина ℓ	

2. Экспериментальные данные

№ № п/п	Типы деформации	Высота после испытания h_1	Укорочение образца Δh	Разрушаю- щая нагрузка F_u	Предел прочности $\sigma_u (\tau_u)$
		м	м	кН	МПа

Диаграмма сжатия

$F, \text{кН}$

$\Delta h, \text{м}$

Масштаб диаграммы: нагрузок _____ кН в 1 см,

Укорочений _____ м в 1 см.

3. Результаты испытаний:
предел прочности при сжатии

вдоль $\sigma_u = \frac{F_u}{A_0} =$ МПа,

поперек $\sigma_u = \frac{F_u}{A_0} =$ МПа,

предел прочности при скалывании

$\tau_u = \frac{F_u}{A_0} =$ МПа.

Стандартный предел прочности древесины при 15% влажности определяется по формулам:

при сжатии вдоль $\sigma_{15} = \sigma_u(1 + k_{сж}(B-15))$ МПа

при сжатии поперек $\sigma_{15} = \sigma_u(1 + k_{сж}(B-15))$ МПа

при скалывании $\tau_{15} = \tau_u(1 + k_{сж}(B-15))$ МПа

ВЫВОДЫ

Исполнитель _____

Руководитель _____

Лабораторная работа №5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ПРОДОЛЬНОЙ УПРУГОСТИ СТАЛИ

Цель работы. Проверка закона Гука при растяжении и определении модуля упругости стали.

Содержание работы. Как известно, диаграмма растяжения (сжатия) для большинства материалов на начальном участке прямолинейна. На этом участке нормальное напряжение σ в поперечном сечении до определенного значения, называемого пределом пропорциональности прямо пропорционально относительной деформации ε .

$$\sigma = \varepsilon E \quad (25)$$

Эта зависимость носит название закона Гука. Коэффициент пропорциональности E , входящий в формулу закона Гука, для каждого материала является постоянной величиной. Этот коэффициент

называется модулем упругости первого рода или просто модулем упругости. Из приведенной выше формулы видно, что модуль упругости выражается в тех же единицах, что и напряжение, то есть МПа, кг/см², кг/мм².

Модули упругости E не одинаковы для различных материалов и находятся опытным путем.

Учитывая, что

$$\sigma = \frac{F}{A}; \varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell}, \quad (26)$$

закон Гука можно записать в развернутой форме, то есть деформация стержня прямо пропорциональна действующей силе F , длине стержня и обратно пропорциональна площади поперечного сечения A . Из этой формулы видно, что стержень деформируется тем меньше, чем больше модуль упругости материала. Таким образом, модуль упругости является мерой жесткости материала и в физическом смысле модуль упругости E характеризует сопротивляемость материала упругой деформации при растяжении (сжатии).

Для некоторых материалов величина модуля упругости одинакова как при растяжении, так и при сжатии (сталь, медь), для других материалов - различна для каждой из этих деформаций. В обычных расчетах этой разницей пренебрегают и принимают для большинства материалов одно и то же значение модуля E как при растяжении, так и при сжатии.

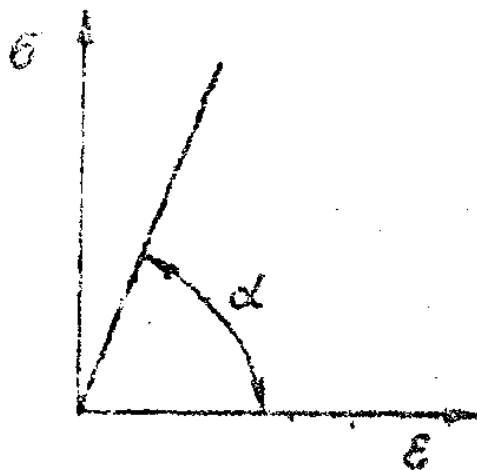


Рисунок 18- Начальный участок диаграммы напряжений

Из диаграммы напряжений в координатах «напряжение - относительная деформация» (рисунок 18) видно, что

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sigma}{\varepsilon} = E. \quad (27)$$

Таким образом, модуль E графически изображается тангенсом угла наклона к оси абсцисс прямолинейной части диаграммы напряжений. Все материалы при растяжении (сжатии) дают величины

деформаций, более или менее от отличающиеся закона Гука. Для некоторых, материалов (большинство металлов) эта отклонения ничтожно малы и можно считать, что осуществляется полная пропорциональность между деформацией и нагрузкой; для других (чугун, камень, бетон) - отклонения значительно больше. Для практических расчетов можно пренебречь этими отклонениями и брать средние значения модулей упругости.

Постановка работы. При определении величины модуля упругости образец подвергают растяжению на разрывной машине. Образец устанавливается в захватах машины.

Величина напряжений в материале при испытании не должна превышать предела пропорциональности, поэтому деформации будут весьма малыми. Для их измерения применяется зеркальный тензомер. На образце обычно устанавливают два тензометра на противоположных концах диаметра круглого или гранях плоского образцов для устранения влияния возможной эксцентricности приложения нагрузки. В начале образец загружают некоторой нагрузкой для обжатия концов образца. Эта нагрузка принимается за условный нуль. На этой нагрузке снимают первые отсчеты по обоим приборам. Далее увеличивают нагрузку равными ступенями и производятся отсчеты по приборам, результаты заносятся в таблицу.

Максимальная нагрузка, прикладываемая к образцу, должна вызывать в нем напряжение, не превышающее предела пропорциональности. Одинаковым приращениям нагрузки должны отвечать в пределах пропорциональности одинаковые приращения отсчетов по приборам. По окончании опыта образец разгружают.

Справедливость закона Гука проверяется построением графика "нагрузка - деформация". По оси ординат откладываются нагрузки, а по оси абсцисс - показания приборов. Если график является прямой линией, закон Гука считается подтвержденным.

Показания тензометров (приборов) на первой ступени нагружения принимаются за нуль отсчета и определяется среднее приращение показаний тензометров ΔA_{cp} соответствующее одной ступени нагрузки ΔF . Тогда среднее абсолютное удлинение образца на длине, равной базе тензометра l , будет

$$\Delta \ell_{cp} = \frac{\Delta A_{cp}}{K}, \quad (28)$$

где K - коэффициент увеличения тензометра.

Тогда величина модуля упругости вычисляется по формуле

$$E = \frac{\Delta F \cdot \ell}{\Delta \ell_{cp} \cdot A}. \quad (29)$$

Проведенный эксперимент позволяет убедиться в справедливости закона пропорциональности между нагрузками и деформациями.

По найденному значению модуля E можно установить примерно марку стали.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте закон Гука.
2. Что называется модулем упругости?
3. Расскажите устройство и принцип работы зеркального тензометра.
4. Расскажите методику экспериментального определения модуля упругости.
5. Как экспериментально подтверждается закон Гука?

Содержание отчёта:

Лабораторная работа № 5

Дата « ____ » _____ 20__ г.

Определение модуля продольной упругости стали

Цель работы: определение модуля продольной упругости при растяжении стали.

Оборудование: универсальная машина УИМ-50, тензометры рычажные.

Содержание работы: определить упругие удлинения образца зеркальным прибором и вычислить модуль продольной упругости.

Эскиз образца:

Схема установки:

Испытательная машина _____ шкала _____

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

1. Исходные характеристики образца и прибора:

Материал образца

Диаметр образца

Площадь поперечного сечения

Расчетная длина

$d =$ _____ м.

$A_0 =$ _____ м².

$\ell_0 =$ _____ м.

Диагональ призмы

База прибора

Увеличение прибора

Цена деления шкалы прибора

$$K = \text{_____ мм.}$$

$$L = \text{_____ мм.}$$

$$\frac{2L}{K} = \text{_____}$$

$$\text{_____ мм.}$$

2. Экспериментальные данные и их обработка:

№ №	Нагрузка F	Приращение нагрузки ΔF	Отсчеты по шкалам		Сумма отсчетов по обоим шкалам	Разность смежных отсчетов
			левый A	правый ΔA_{np}		
	кН	кН	мм	мм	$A = A_{II} + A_{III}$, мм	$A = A_2 - A_1$, мм

Среднее приращение

$$\Delta A_{cp} = \frac{\Sigma \Delta A}{n} = \text{_____ мм.}$$

Среднее приращение упругих
удлинений

$$\Delta \ell_{cp} = \frac{\Delta A_{cp}}{n} = \text{_____ м.}$$

Среднее приращение нагрузки

$$\Delta F_{cp} = \frac{\Sigma \ell_{cp} \cdot \ell_0}{n} = \text{_____ Кн.}$$

3. Результаты испытаний

Модуль упругости

$$E = \frac{\Delta F_{cp} \cdot \ell_0}{A_0 \cdot \Delta \ell_{cp}} = \text{_____ МПа.}$$

ВЫВОДЫ

Исполнитель _____

Руководитель _____

ЛИТЕРАТУРА

а) основная литература

1. Степин П. А. Сопротивление материалов, М., "Высшая школа", 2010.
2. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. - М.: изд. МГТУ, 2003 -591 с.
3. Серазутдинов М.И. Прикладная механика: учебник/ М.И.Серазутдинов, Э.Н. Островская, Н.П.Петухов, С.Г.Сидорин: под ред.М.Н. Серазутдинова - Казань ООО Веда, 2011. – 322 с.
4. Беляев Н.М. Лабораторные работы по сопротивлению материалов. - М., ГМТТЛ. 2002. - 286с.

б) дополнительная литература

1. Александров А.В. Потапов В.Д. Державин Б.П. Сопротивление материалов -М.: Высшая школа, 2000. –560 с.
- 2.Дарков А.В., Шпиро Г.С. Сопротивление материалов. – М.: Высшая школа, 1989. –622 с.
- 3.Долинский Ф.В., Михайлов М.Н. Краткий курс сопротивления материалов - М.: Высшая школа, 1988. –437 с.
- 4.Паршин Л.К. и др. Сборник задач по сопротивлению материалов. - М.: Наука, 2011. –432 с.
- 5.Пикмуллин Г.В. Методическое указание для выполнения лабораторных работ по сопротивлению материалов/ Г.В. Пикмуллин, А.А.Мустафин. Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2012. - 32 с
- 6.Синяговский И.С. Руководство к лабораторным работам по сопротивлению материалов/ И.С. Синяговский, А.Д. Двоеглазова, А.Ф. Засова, Г.Г. Баловнев - М., Высшая школа, 2001.-182с.

Приложение 1

СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ЕДИНИЦАМИ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Наименование величин	Единица		Соотношение единиц
	Наименование	Обозначение	
Сила, нагрузка, вес	Ньютон	Н	I Н 0,1 кгс
Линейная нагрузка	Ньютон на метр	Н/м	I Н/м 0,1 кгс/м I кН/м 0,1 тс/м
Поверхностная нагрузка, механическое напряжение, модуль упругости	Паскаль (Ньютон на квадратный метр)	Па	I Па 0,1 кгс/м ² I кПа 0,1 тс/м ² I МПа 10 кгс/см ²
Момент силы, момент пары сил	Ньютон-метр	$H \cdot m$	I $H \cdot m$ 0,1 кгс·м I кН·м 0,1 тс·м
Работа (энергия)	Джоуль	Дж	I Дж 0,1 кгс·м
Мощность	Ватт (Джоуль в секунду)	Вт	I Вт 0,1 кгс·м/с

Приложение 2

КРАТНЫЕ И ДОЛЬНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ

Приставка	Обозначение	Множитель	Приставка	Обозначение	Множитель
Тера	Т	10^{12}	Деци	д	10^{-1}
Гига	Г	10^9	Санти	с	10^{-2}
Мега	М	10^6	Милли	м	10^{-3}
Кило	К	10^3	Микро	Мк	10^{-6}
Гекто	Г	10^2	Нано	Н	10^{-9}
Дека	да	10^1	Пико	п	10^{-12}

Примечание. Приставки рекомендуется выбирать таким образом, чтобы числовые значения величин находились в пределах 0,1-1000.

Приложение 3

Характеристики прочности и пластичности для некоторых конструкционных материалов

Материал	Временное сопротивление (предел прочности) σ_{ϵ} , МПа	Предел текучести σ_T , МПа	Относительное удлинение δ , %	Предел выносливости, МПа		
				σ_{-1p}	σ_{-1u}	τ_{-1N}
Углеродистые стали обыкновенного качества						
Ст 2кп	330...420	200...220	30...33	120...160	170...220	80...130
Ст2пс(сп)	340...440	210...230	29...32			
Ст 3кп	370...470	220...240	24...27	120...160	170...220	100...130
Ст 3пс(сп)	380...490	230...250	23...26			
Ст 4кп	410...520	240...260	22...25	-	190...250	-
Ст 4пс(сп)	420...540	250...270	21...24			
Ст 5пс(сп)	500...640	270...290	17...20	170...220	220...300	130...180
Ст 6пс(сп)	600	300...320	12...15	190...250	250...340	150...200
Углеродистые качественные стали (нормализованные)						
10	340...420	210	31	120...150	160...220	80...120
20	420...500	250	25	120...160	170...220	100...130
30	500...600	300	21	170...210	200...270	110...140
40	580...700	340	19	180...240	230...320	140...190
45	610...750	360	16	190...250	250...340	150...200
50	640...800	380	14	200...260	270...350	160...210
60	690...900	410	12	220...280	310...380	180...220
Легированные стали						
20X	720...850	400...650	12	-	310...380	170...230
40X	730...1050	650...900	15,5	240...340	320...480	210...260
45X	850...1060	700...950	9	-	400...500	-
40XH	1000...1450	800...1300	-	310...420	460...600	-
30XГСА	1100...1700	850...1500	7	-	480...700	280...400
60Г	710	420	11	250...320	-	-

Устанавливают марку стали, используя справочные данные и, в соответствии с этим решить, в каких конструкциях материал может найти применение. При выборе марки принимают ту строку, которая наиболее точно подходит по трём характеристикам: пределу текучести, пределу прочности и относительному удлинению (относительному сужению).

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Инструкция по технике безопасности для студентов, работающих в механической лаборатории.....	4
Лабораторная работа 1. Испытательные машины и измерительные приборы.....	5
Лабораторная работа 2. Испытание металла на растяжение.....	16
Лабораторная работа 3. Испытание металла на сжатие.....	22
Лабораторная работа 4. Испытания древесины на сжатие и скалывание.....	27
Лабораторная работа 5. Определение модуля продольной упругости стали.....	32
Литература	37
Справочные материалы	38