

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Емельянов Сергей Геннадьевич

Должность: ректор

Дата подписания: 26.05.2022 12:30:25

Уникальный программный ключ:

9ba7d3e34c012eba476ffd2d064cf2781953be730df2374d16f3c0ce536f0fc6

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Курский государственный технический университет»

Кафедра «Городское строительство, хозяйство
и строительная механика»

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания по проведению лабораторных работ

Курск 2009

УДК 620.1:539.3/8

Составители: Л.Ю. Ступишин, А.А. Лабутин, В.Н. Кассихин,
А.М. Шалавин

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теоретическая
механика и мехатроника» В.Я. Мищенко

Сопротивление материалов [Текст]: методические указания
по проведению лабораторных работ / Курск. гос. техн. ун-т; сост.
Л.Ю. Ступишин, А.А. Лабутин, В.Н. Кассихин, А.М. Шалавин.
Курск, 2009. 79 с.

Изложен порядок выполнения лабораторных работ и методика
обработки полученных экспериментальных данных. Рассмотрено устройство
испытательного оборудования и измерительных приборов, приведены
рекомендации по их использованию

При подготовке рукописи учебно-методических указаний
большую помощь оказал инженер Маслов А.С.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16
Усл.печ.л. . Уч.-изд.л. . Тираж экз. Заказ. Бесплатно.

Курский государственный технический университет.
Издательско-полиграфический центр Курского государственного
технического университета. 305040, г.Курск, ул.50 лет Октября, 94.

Часть 1. Использование испытательных машин и измерительных приборов

Введение

Испытания, выполняемые в курсе сопротивления материалов, подразделяются на две основные группы:

1. Испытания по изучению механических свойств материалов.
2. Испытания по проверке гипотез и окончательных формул теории.

Определение механических свойств материалов производится на стандартных образцах, подвергающихся деформированию в соответствующих испытательных машинах.

Экспериментальная проверка теоретических положений курса производится на деталях или моделях, подвергающихся силовому воздействию в тех же испытательных машинах или в специальных установках. Для определения деформаций и перемещений применяются различные измерительные приборы.

Настоящая учебно-методическая разработка включает краткое описание устройства испытательных машин и измерительных приборов и рекомендации по их использованию

I. Испытательные машины

1. Общие соображения по применению лабораторного оборудования

Прежде чем приступить к выполнению лабораторных работ, каждому студенту необходимо ознакомиться с устройством испытательных машин и измерительных приборов и методическими указаниями по их использованию. Ниже даётся краткое описание испытательных машин и приборов, рекомендации по их выбору и использованию.

При выполнении лабораторных работ №№ 1,2,3,4,5,10,12 используемые образцы нагружаются статически и используются машины для статических испытаний. Работы №№ 1,3,4,10,12

выполняются на машинах УММ-5 (УМ-5), работа №5 – на машине Р-10(МУП-50), работа №5 – на машине КМ-50-1(КМ-50).

При выполнении работ №№15,17 испытываемые образцы нагружаются динамической нагрузкой и используются машины для динамических испытаний. Работа №15 выполняется на маятниковом копре МК-30А(МК-30), работа №17 – машина УКИ-10М (УКИ-10). Для ознакомления с современными методами определения деформаций и напряжений в лаборатории механических испытаний широко используются тензодатчики в сочетании с новейшими измерителями деформаций АИД (ИСД). Находят применение также и рычажные тензометры. Замер перемещений производится с помощью индикаторов часового типа.

2. Машины для статических испытаний

Они предназначены для создания определённой нагрузки на образец и регистрации как величины этой нагрузки, так и величины деформации образца.

Испытательные машины этого класса состоят из следующих основных частей:

1. Механизм для нагружения испытываемого образца (механизм силонагружения).

2. Механизм для измерения усилия, деформирующего испытываемый образец (механизм силоизмерения).

3. Захватно-опорные приспособления для установки испытываемых образцов.

4. Станина, объединяющая все механизмы в единое целое

В зависимости от устройства механизма силонагружения различают два основных типа испытательных машин:

а) машины с механическим приводом;

б) машины с гидравлическим приводом.

В машинах с механическим приводом (рис. 1) при испытаниях на растяжение (рис 1а) и на сжатие (рис.1б) деформирование испытываемого образца 1 осуществляется путем перемещения подвижного захвата 2 и соединённого с ним

грузового винта 3 при вращении червячной шестерни-гайки 4 от электромотора через червяк 5.

При испытании на кручение (рис 1в) закручивании испытуемого образца 1 осуществляется путём вращения электромотора, червяка 5, червячной шестерни 4 и соединённого с нею грузового винта 3 и подвижного захвата 2.

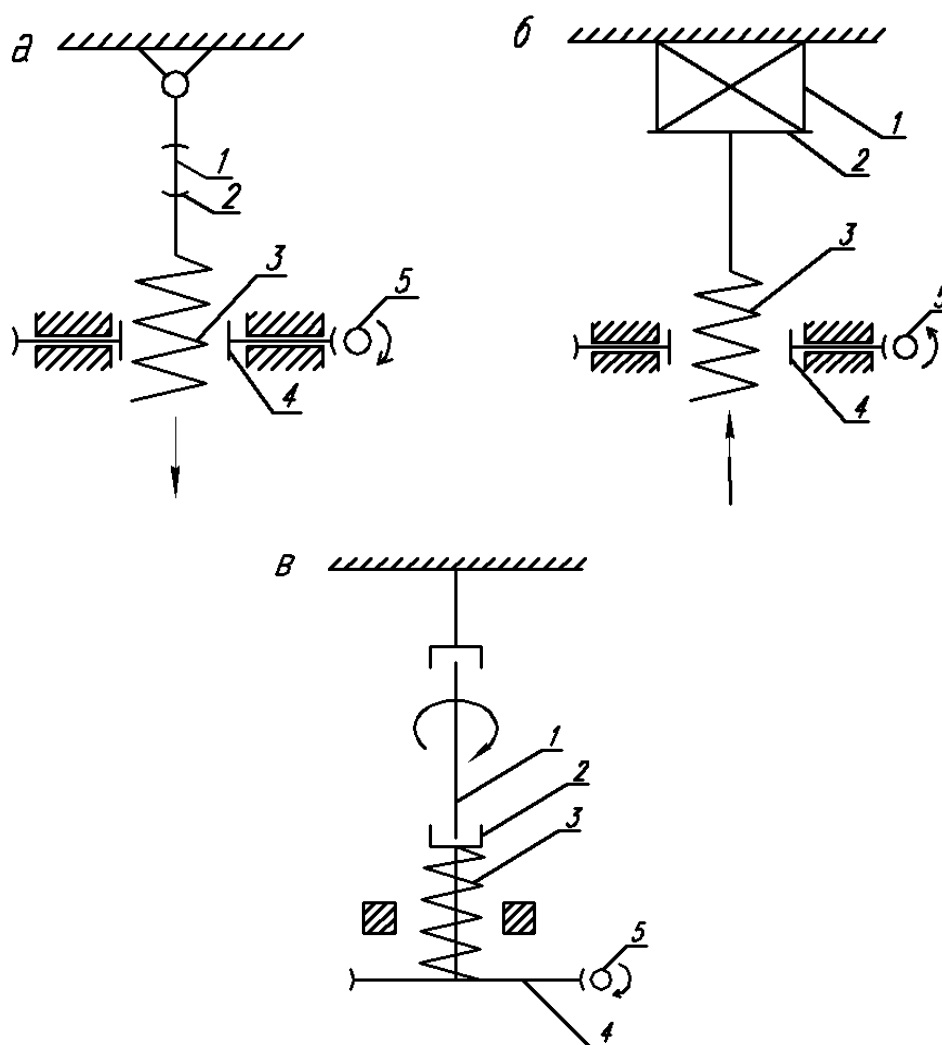


Рис 1. Схема машины с механическим приводом: 1 – образец; 2 – подвижный захват; 3 – грузовой винт; 4 – червячная шестерня; 5 - червяк

В машинах с гидравлическим приводом (рис. 2) при испытаниях на растяжение (рис. 2а) и на сжатие (рис. 2б) деформирование испытуемого образца происходит при перемещении подвижного захвата 2, соединённого с поршнем 3

рабочего цилиндра 4, в который при помощи насоса закачивается масло.

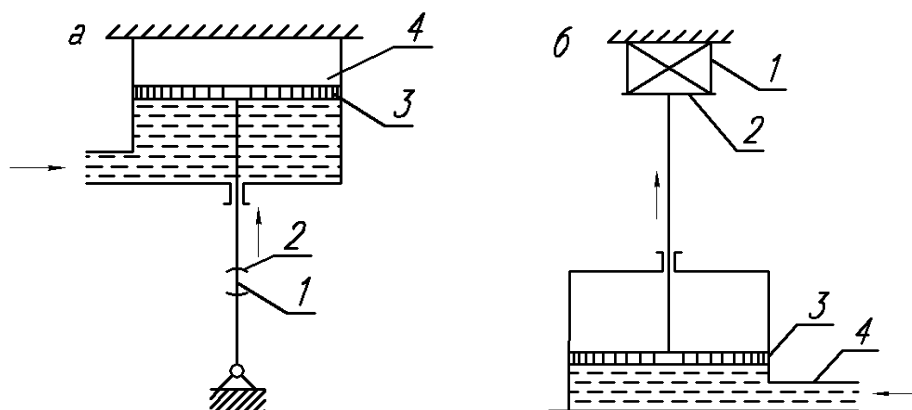


Рис 2. Схема машины с гидравлическим приводом: 1 – образец; 2 – подвижный захват; 3 – поршень; 4 – рабочий цилиндр

Испытательные машины изготавливают с тремя типами механизмов силоизмерения: рычажным, маятниковым и манометрическим.

В рычажном механизме силоизмерения (рис 3а) постоянный по величине груз перемещается по длинному плечу рычага 2 так, чтобы при деформировании образца 1 рычаг оставался в равновесии. Расстояние от центра тяжести груза 3 до оси поворота 0 рычага изменяется пропорционально нагрузке на образец, поэтому на рычаге 2 можно нанести линейную шкалу в килоньютонах, килограммах или тоннах.

В маятниковом механизме силоизмерения (рис. 3б) нагрузку на образец 1 через рычажную систему 2 создаёт момент, уравновешиваемый моментом, создаваемым тяжёлым маятником 4 при его отклонении от вертикального положения. Нагрузка на образец пропорциональна отклонению маятника, поэтому можно связать отклонение маятника с линейной или круговой шкалой, проградуированной в килоньютонах, килограммах или тоннах.

Манометрический механизм силовыгрузки обычно применяется в машинах с гидравлическим приводом (рис. 3в). Величина нагрузки на образец 1 определяется умножением

давления жидкости в рабочем цилиндре 5 на площадь поршня, Шкалу манометра 6 можно проградуировать в килоньютонах, килограммах или тоннах.

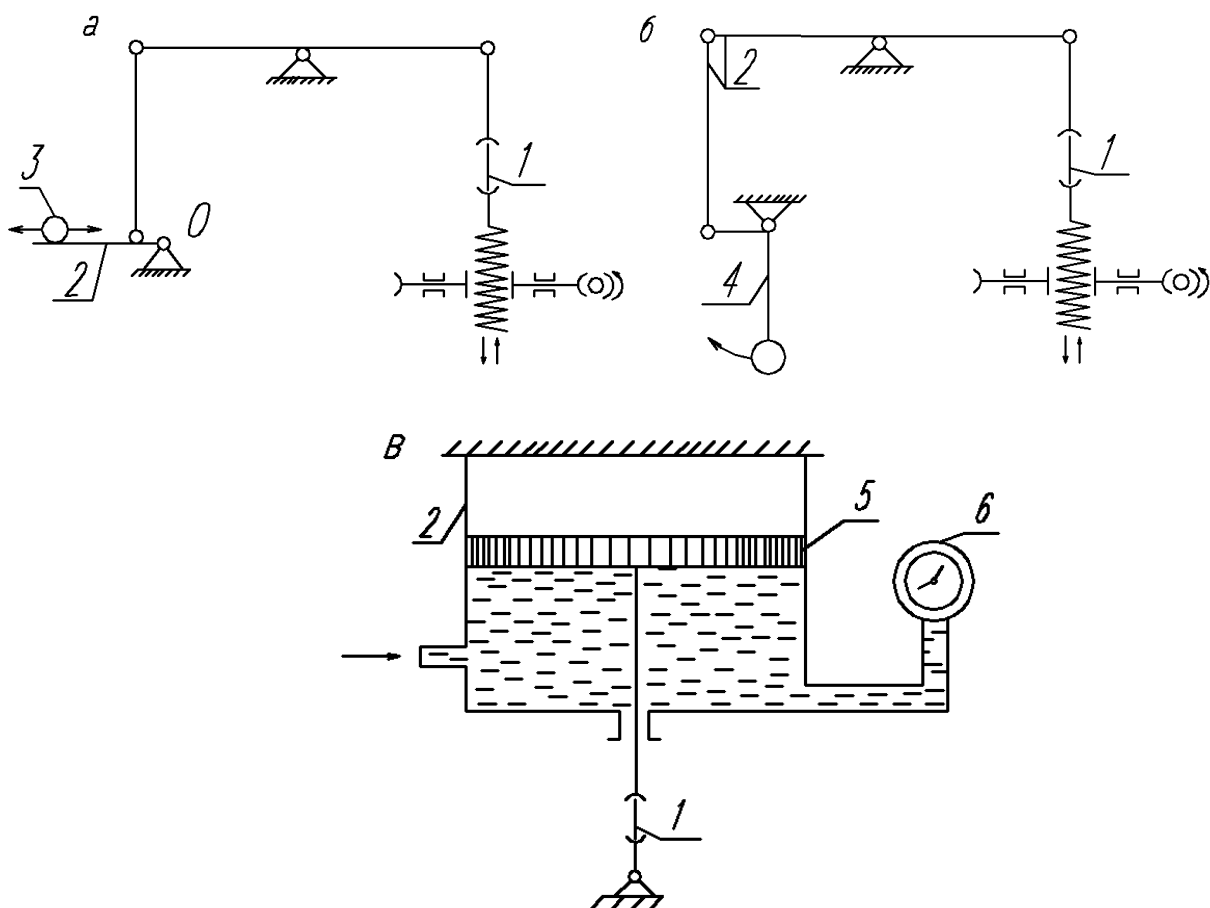


Рис 3. Схема машин с рычажным, маятниковым и манометрическим механизмами силонагружения: 1 – образец; 2 – рычажная система; 3 – груз; 4 – маятник; 5 – рабочий цилиндр; 6 – манометр

Испытательные машины, как правило, имеют диаграммные аппараты для автоматической записи зависимости (диаграммы): деформация испытуемого образца – приложенная нагрузка (рис. 4), Диаграммы записываются на бумаге, намотанной на цилиндрический барабан 8, приводящийся во вращение от подвижного захвата 2 с помощью зубчатой рейки 3, зубчатого колеса 4, нити с грузом 7. Самописец 6 связан с механизмом силоизмерения 5. Масштабы записи диаграммы указываются в паспорте машины.

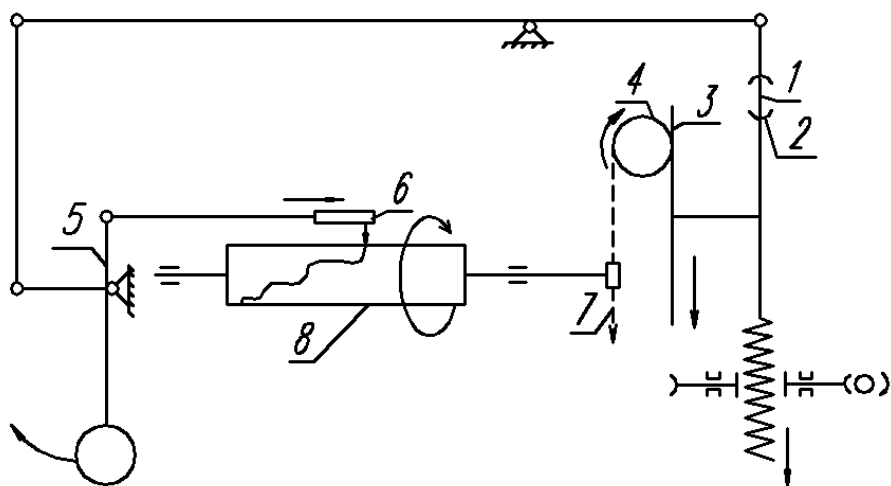


Рис 4. Схема работы диаграммного аппарата: 1 – образец; 2 – захваты; 3 – зубчатая передача; 4 – зубчатое колесо; 5 – маятник силоизмерителя; 6 – самописец; 7 – нить с грузом; 8 – барабан

2.1. Машина универсальная типа УММ-5 (УМ-5) с механическим приводом

На рис. 5 изображена схема машины типа УММ-5 (УМ-5). Машина предназначена для статических испытаний на растяжение, сжатие, изгиб. При испытании на растяжение испытуемый образец 1 закрепляют в захватах 2; при испытании на сжатие в захватах устанавливают опорные плиты; при испытании на изгиб на нижний захват устанавливают стол с двумя опорами, а к верхнему захвату прикрепляют ножевую опору. При наличии специального приспособления на машине можно проводить испытание на срез.

Механизм силонагружения. Для нагружения образца 1 (рис. 1а, 1б, 5) включается электродвигатель «М», вращение от которого через коробку скоростей и червяк передаётся неподвижной в осевом направлении червячной шестерне-гайке 3. При вращении шестерни – гайки 3 грузовой винт 4 вместе с нижним подвижным захватом 2 перемещается вверх или вниз, нагружая образец 1. Коробка скоростей предназначена для изменения скорости

перемещения нижнего захвата. В машине предусмотрены четыре скорости: 60, 20, 10 и 4 10^{-3} м/мин.

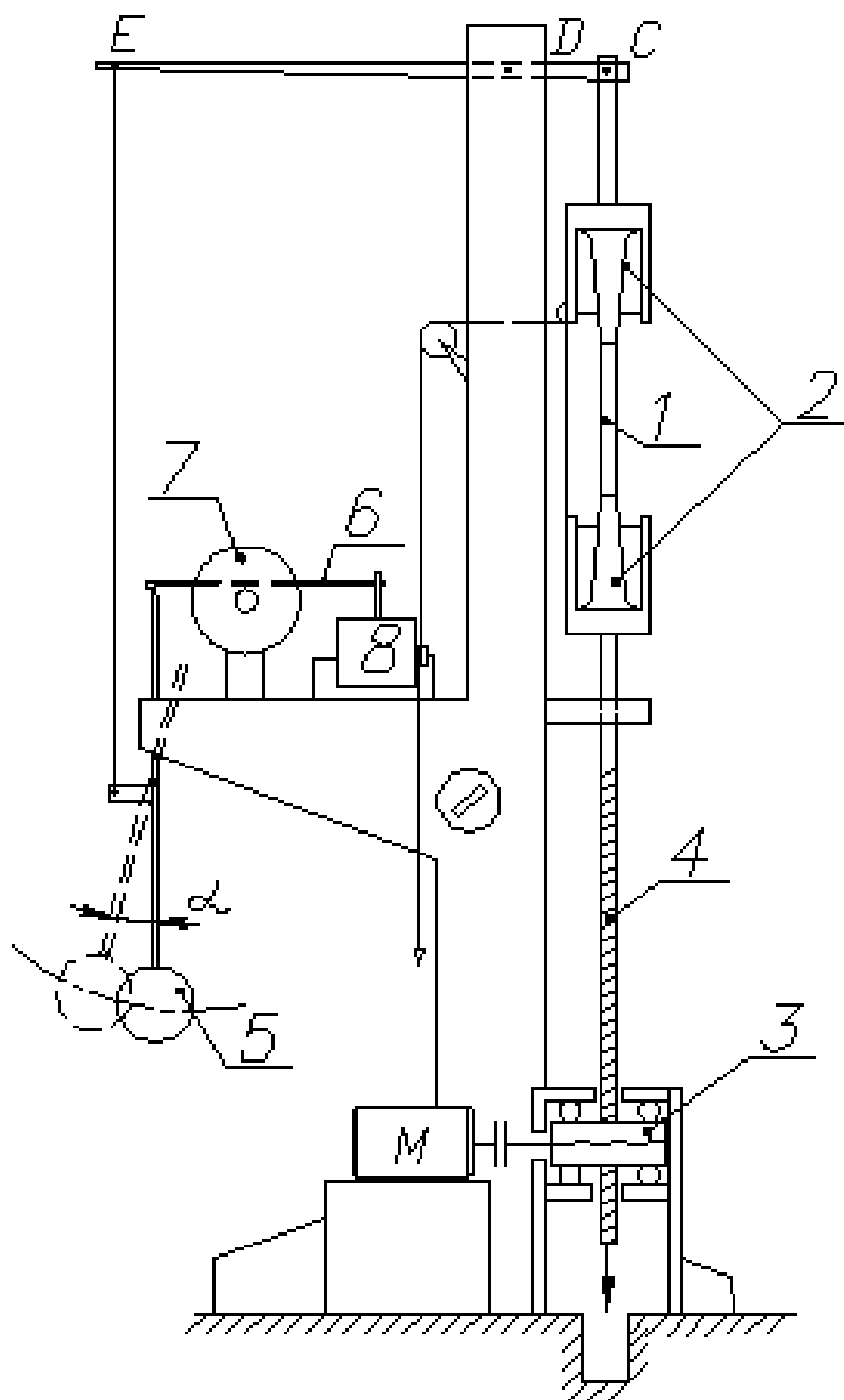


Рис. 5. Схема испытательной машины с механическим приводом: 1 – образец; 2 - захваты; 3 – червячное колесо-гайка; 4 – винт грузовой; 5 – маятник; 6 – стержень-рейка; 7 – шкала нагрузок; 8 – барабан записывающего устройства

Механизм силоизмерения. Машина типа УММ-5 (УМ-5) выпускается с маятниковым механизмом силоизмерения (рис. 3,б). Действующая на образец нагрузка передаётся через систему рычагов СDE (рис. 5) на маятник 5. Угол отклонения маятника пропорционален величине нагрузки. Отклонение маятника передаётся на реечный механизм 6 с самописцем, который вращает стрелку круговой шкалы нагрузок 7.

Наибольшая величина нагрузки на образец зависит от веса грузов Q , устанавливаемых на нижнем конце маятника. Отсчёт величины нагрузки ведут по шкале, соответствующей грузу на маятнике: при грузе А – шкала А (предельная нагрузка 10 кН (1000 кг); при грузе А+Б – шкала Б (предельная нагрузка 20 кН (2000 кг); при грузе А+Б+В – шкала В (предельная нагрузка 50 кН (5000 кг).

Результаты испытания образца наглядно выражаются зависимостью «нагрузка-изменение длины образца» (диаграмма растяжения), которая автоматически записывается с помощью диаграммного аппарата (рис. 4). Для вычерчивания диаграммы машину снабжают самописцем 6 (рис. 5) с пером или карандашом и барабаном 8, на который наматывается миллиметровая бумага.

При деформации образца с помощью зубчатой пары 3-4 (рис. 4) и гибкого шнура 7 поворачивается барабан 8. От возникающего в образце усилия маятник 5 отклоняется и перемещает рейку 6 с самописцем, вычерчивающим диаграмму.

Станина. Все механизмы испытательной машины объединены в единое целое станиной, состоящей из верхней и нижней отливок, жёстко скреплённых между собой двумя направляющими колоннами.

2.2. Машина универсальная типа УММ-20 (МУП-50), Р-10 с гидравлическим приводом

На рис. 6 изображена схема машины типа УММ-20 (МУП-50) с гидравлическим приводом с максимальным усилием 200 кН (20 т), 500 кН (50 т). Машина универсальная предназначена для статических испытаний образцов, деталей или целых изделий на

растяжение, сжатие, изгиб и срез, когда для испытания требуются значительны усилия.

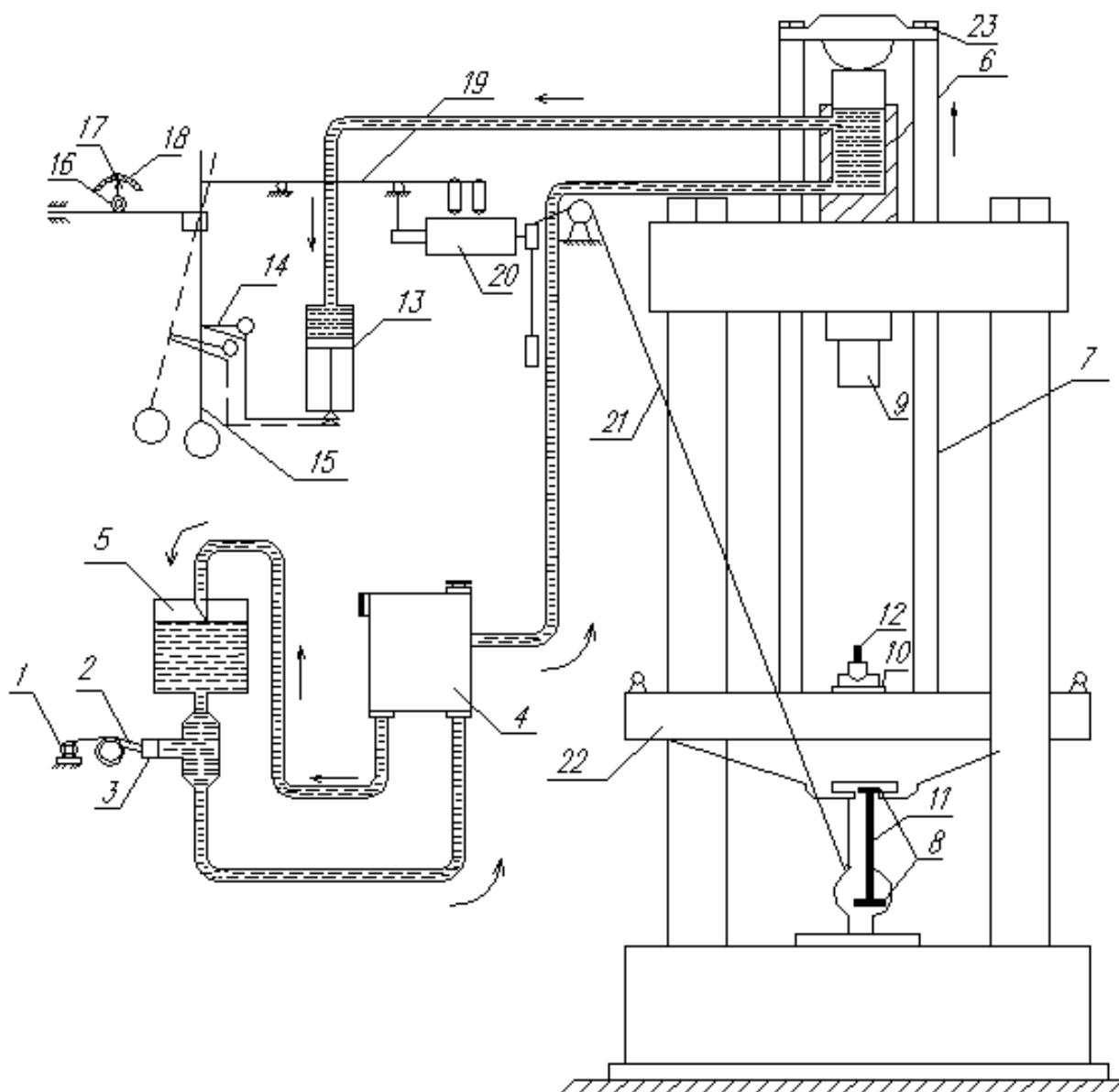


Рис 6. Схема испытательной машины с гидравлическим приводом: 1 – электродвигатель; 2 – кривошипно-шатунный механизм; 3 – насос; 4 – дроссельная коробка; 5 – бак с маслом; 6 – рабочий цилиндр; 7 – тяги; 8 – захваты; 9 – верхняя подушка прессы; 10 – нижняя подушка прессы; 11 – положение образца при растяжении; 12 – положение образца при сжатии; 13 – гидравлический цилиндр динамометра и поршень; 14 – тяга динамометра; 15 – маятник с грузом динамометра; 16 – рейка динамометра; 17 – стрелка; 18 – шкала; 19 – поводок с пером;

20 – барабан для записи диаграммы; 21 – нить привода барабана; 22 – нижняя траверса; 23 – верхняя траверса

При испытании на растяжение образец 11 закрепляют в захватах 8, а при испытании на сжатии образец 12 устанавливают на нижнюю траверсу 22 между опорными подушками 9 и 10. При наличии специальных приспособлений можно производить испытания на изгиб и срез.

Механизм силонагружения. Для нагружения образцов 11 или 12 (рис. 6) включается электродвигатель 1, приводящий в действие гидравлический насос 3, который нагнетает масло в рабочий цилиндр 6. При нагнетании масла поршень перемещает траверсу 23 всегда вверх и образцы 11 и 12 подвергаются растяжению или сжатию. Регулировка скорости перемещения захватов плавная. Гидравлические машины изготавливают с максимальной нагрузкой 100, 200, 500, 1000 и 5000 кН (10...500 т).

Механизм силоизмерения. Машины типа УММ-20 (МУП-50) выпускаются с механизмом силоизмерения маятникового типа. Масло из рабочего цилиндра 6 поступает в цилиндр 13. Поршень цилиндра 13 опускается и через рычажную систему 14 отклоняет маятник 15 от вертикального положения. Отклонение маятника, пропорциональное нагружению образца, через реечный механизм 16, преобразуется во вращение стрелки 17, показывающей величину нагрузки по шкале 18.

Для автоматической записи зависимости деформации образца от нагрузки машина снабжена диаграммным аппаратом (рис. 4). При деформации образца с помощью гибкого шнура 21 (рис. 6) поворачивается барабан 20 с намотанной на него миллиметровой бумагой. Отклоняющийся маятник перемещает поводок 19 с самописцем, который вычерчивает диаграмму.

Станина. Представляет собой две (верхняя и нижняя) отливки, жёстко скреплённые круглыми металлическими колоннами, и служит для объединения всех деталей в единое целое.

2.3. Машина для испытания на кручение типа КМ-50-1.

На рисунке 7 изображена схема машины для испытаний на кручение с максимальным крутящим моментом 500 Н·м (50 кг·м). Машина служит для испытания на кручение образцов круглого, прямоугольного и кольцевого поперечных сечений. Испытуемый образец 1 закрепляют в клиновых захватах 2.

Механизм силонагружения. Для закручивания образца 1 (рис.1,в,7) включают электродвигатель «М», вращение от которого через коробку скоростей и червяк передаётся червячному колесу 3 и жёстко соединённому с ним грузовому винту 4. Вращение от грузового винта через нижний подвижный захват передаётся на образец 1, который при этом скручивается. Коробка скоростей позволяет получить две скорости вращения нижнего захвата: 1 об/мин и 0,3 об/мин.

Механизм силоизмерения. Для измерения момента, закручивающего образец, служит силоизмеритель маятникового типа (рис.3,б), связанный с верхним захватом. Вращение нижнего захвата через образец 1 передаётся верхнему захвату 2 (рис. 7), который, поворачиваясь относительно вертикальной оси, с помощью тяг воздействует на маятник 5 и заставляет его отклоняться. Угол отклонения маятника пропорционален крутящему моменту, действующему на образец. Отклонение маятника передаётся на реечный механизм с самописцем 6, который вращает стрелку круговой шкалы 7 нагрузок. В зависимости от веса груза на конце маятника машину можно использовать с наибольшей величиной скручивающего момента 100 Н·м (10 кг·м), 200 Н·м (20 кг·м), 500 Н·м (50 кг·м). Для автоматической записи зависимости деформации образца от скручивающего момента машина снабжена диаграммным аппаратом (рис.4). При вращении барабана 8 (рис.7) на бумаге, закреплённой на барабане, самописец 6 вычерчивает диаграмму.

Станина. Представляет собой две отливки, жёстко скреплённые двумя круглыми металлическими колоннами, и предназначена для объединения всех деталей и механизмов в единое целое.

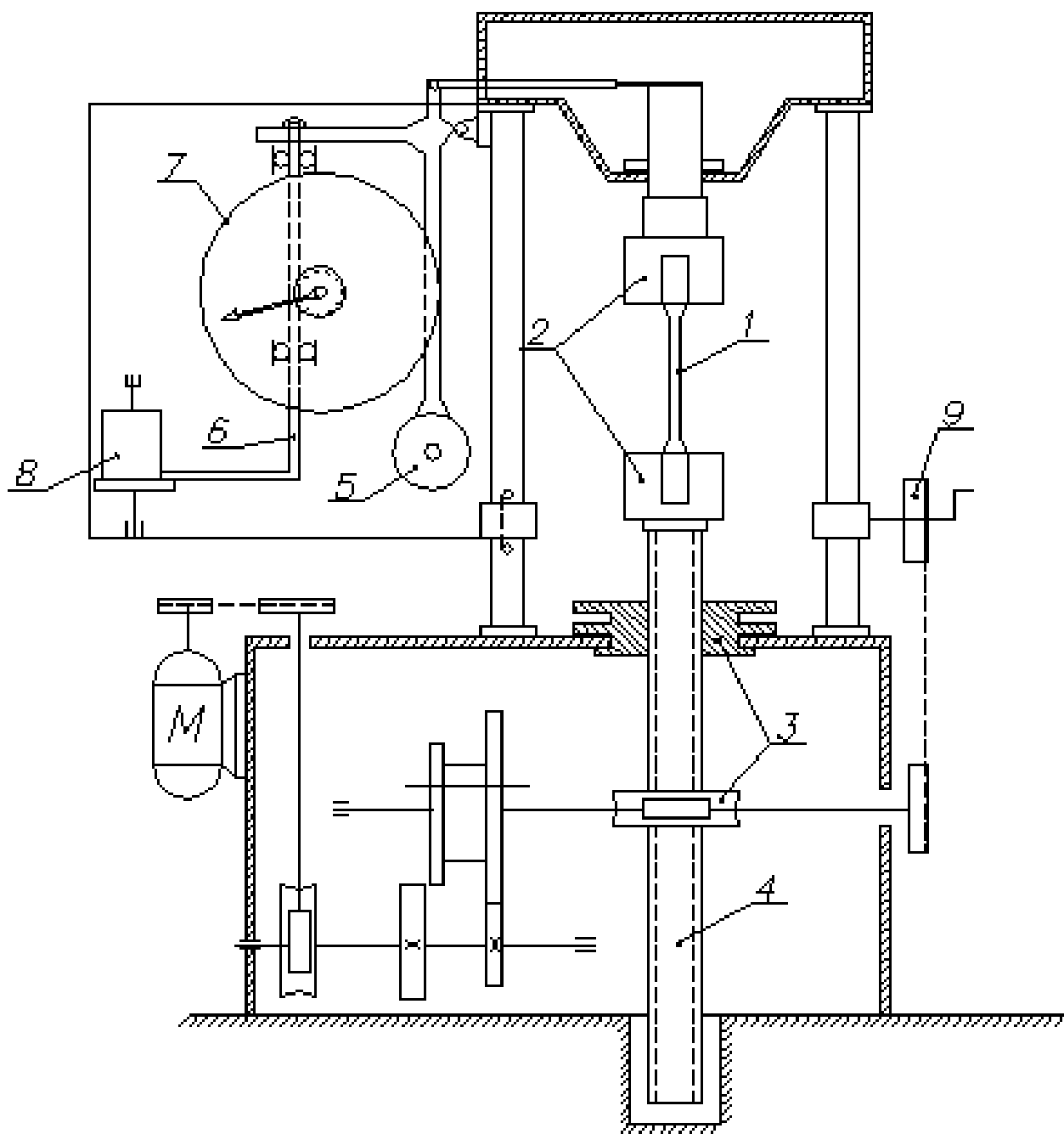


Рис 7. Схема машины для испытаний на кручение:
 1 – образец; 2 – захваты; 3 – червячное колесо-гайка; 4 – винт грузовой;
 5 – маятник; 6 – стержень-рейка записывающего устройства; 7 – шкала нагрузок;
 8 – барабан записывающего устройства; 9 – ручной привод

3. Машины для динамических испытаний

Динамические испытания проводятся обычно на удар и усталость с целью определения характеристик, показывающих сопротивление материалов динамическим и циклическим нагрузкам.

3.1. Маятниковый копёр типа МК-30А(МК-30)

На рисунке 8 представлена схема маятникового копра типа МК-30А (МК-30) с наибольшим запасом энергии 300 Н·м. Копер предназначен для проведения испытаний специальных образцов на удар. Он состоит из массивной станины с двумя вертикальными стойками, в верхней части которых на горизонтальной стальной оси с помощью троса 2 подвешен тяжёлый маятник весом G . Образец 1 помещают на две стальные опоры, привинченные внизу к стойкам копра. В начале испытания маятник поднимают вручную на высоту h_1 , сообщая ему начальный запас энергии U_H , удерживают в этом положении защёлкой. После спуска защёлки маятник свободно падает, разрушает образец и поднимается на высоту h_2 с запасом потенциальной энергии U_K . Значения U_H и U_K фиксируются на шкале 3, их разность определяет работу, затраченную на разрушение образца.

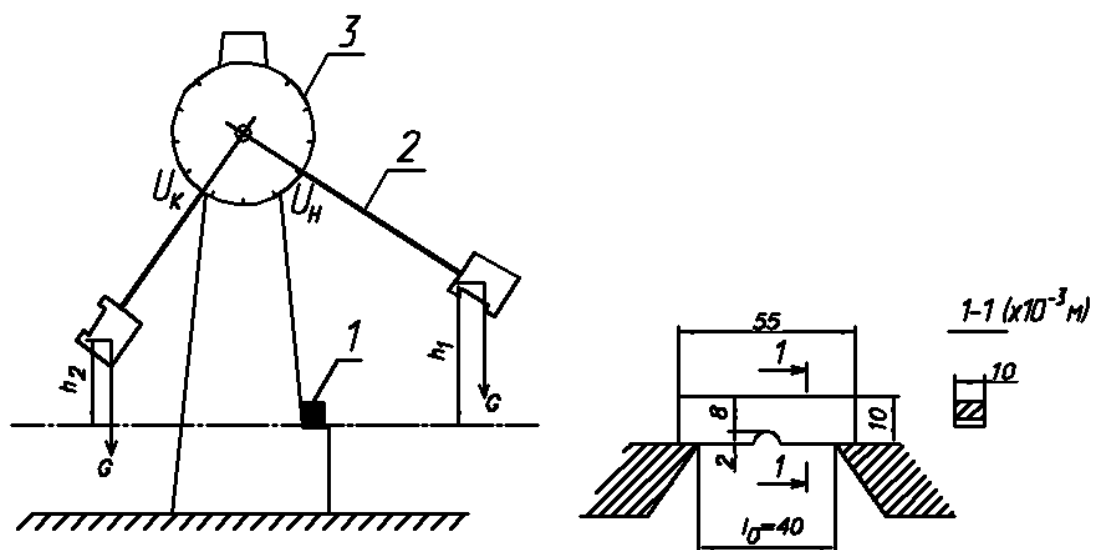


Рис 8. Схема маятникового копра: 1 – образец; 2 – троса с маятником весом G ; 3 – шкала нагрузок

3.2. Машина для испытания на сопротивление усталости типа УКИ – 10М (УКИ – 10)

На рисунке 9 представлена схема машины для усталостных испытаний типа УКИ-10 М (УКИ-10). Машина предназначена для проведения испытаний образцов при переменных напряжениях, периодически повторяющихся во времени. На машинах типа УКИ-10М (УКИ-10) испытываются на изгиб вращающиеся образцы при симметричном цикле изменения напряжений. Скорости вращения образцов 5000 и 10000 об/мин.

Электродвигатель посредством ременной передачи 6 вращает вал 4, закреплённый в шарикоподшипниковых опорных устройствах 3, и патроны 2 с резьбой для ввинчивания концов испытуемых образцов 1. На свободные концы образцов на шарикоподшипниках с помощью хомутиков подвешены съёмные грузы 7. Число циклов нагружения образцов регистрируется счётчиками 5, которые при разрушении образцов автоматически отключаются.

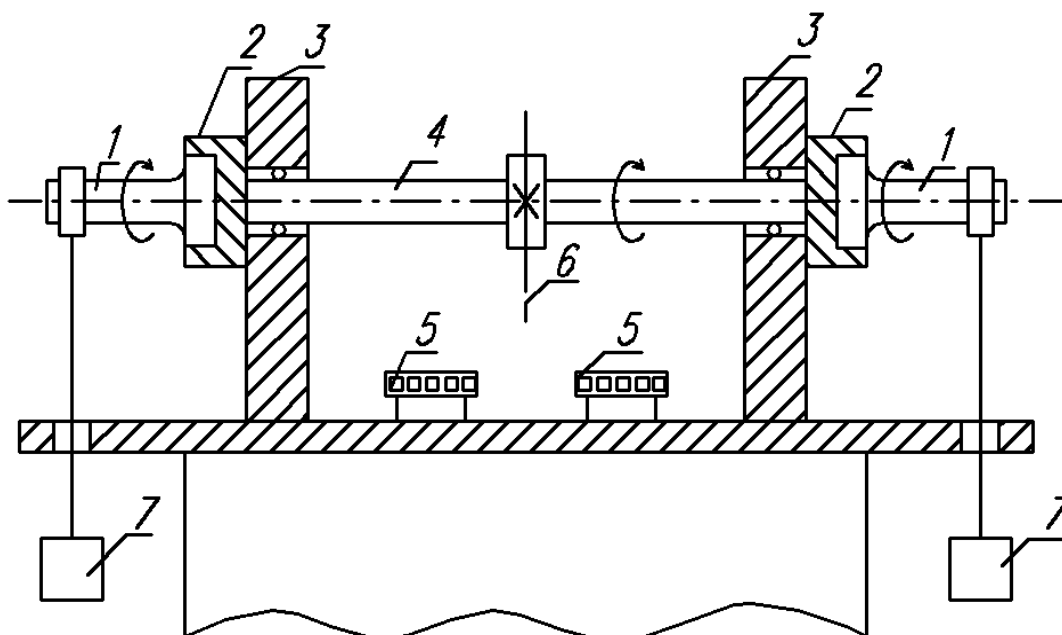


Рис 9. Схема машины для испытания на сопротивление усталости: 1 – образцы; 2 – патрон; 3 – опорное устройство (станина); 4 – вал; 5 – счётчик оборотов; 6 – ременная передача; 7 – набор грузов

II. Измерительные приборы

При испытании стандартных образцов, а также при исследовании работы отдельных деталей часто возникает необходимость в замере деформаций или перемещений в отдельных точках испытуемого образца или элемента конструкции. Замер деформаций производится тензометрами перемещений – индикаторами. Основными характеристиками тензометра являются его база и коэффициент увеличения. Базой называют длину участка, деформацию которого фиксирует прибор; коэффициентом увеличения называют соотношение между отсчётами по прибору и действительной деформацией. По принципу действия различают три основных вида тензометров: механические с рычажной системой; оптико-механические; электрические.

1. Стрелочный индикатор

На рисунке 10 показана схема стрелочного индикатора. Измерительный шрифт 1 через рейку 2 и систему шестерёнок 3 связан со стрелками 4 и 5. Одному обороту стрелки 4 соответствует перемещение стрелки 5 на одно деление. Цена деления индикатора зависит от передаточного числа зубчатых колес. Наибольшее распространение получили индикаторы с ценой деления 0,01 мм. Для более точных измерений имеются индикаторы с ценой деления 0,0002 и 0,001 мм. Максимальное перемещение индикаторного шрифта в различных конструкциях индикаторов от 2 до 10 мм. Величина перемещения фиксируется по шкалам 6 и 7.

2. Рычажный тензометр

На рисунке 11 представлена схема механического тензометра с рычажной системой. Тензометр применяют для замера малых линейных деформаций образцов при статических нагрузках.

При помощи специальных струбцин прибор закрепляют на испытуемом образце 1. При этом две призмы (одна призма подвижная 5, другая - неподвижная) врезаются в материал образца. Неподвижная призма жёстко соединена с корпусом прибора 2, а

подвижная 5 – с рычагом 7, который через тягу связан со стрелкой 8, на верхнем конце которой укреплен балансир 9. Шкала 3, по которой производят отсчёт, снабжена зеркальцем 4. При снятии отсчёта нужно следить за тем, чтобы нож стрелки закрывал своё отражение в зеркальце. Положение стрелки относительно шкалы можно регулировать специальным винтом 10. Во время хранения прибора положение стрелки фиксируется при помощи арритира 11. Расстояние между призмами называют базой тензометра (обычно 20 мм, но с помощью специальных удлинителей база может быть увеличена до 50, 100 и более).

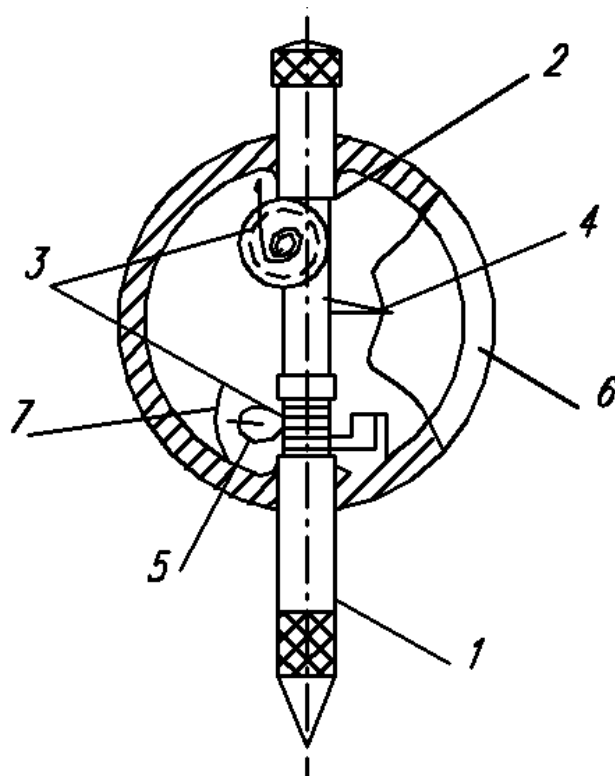


Рис. 10. Стрелочный индикатор: 1 – измерительный шрифт; 2 – рейка; 3 – система шестерёнок; 4 и 5 – стрелки; 6 и 7 - шкалы

При деформировании образца расстояние между призмами изменяется на величину ΔS , подвижная призма 5 при этом поворачивается и отклоняет рычаг 7. Отклонение рычага 7 через тягу передаётся на стрелку 8, которая поворачивается вокруг оси и показывает на шкале 3 деформацию, увеличенную в K раз. Коэффициент увеличения K определяется соотношением между плечами рычага и стрелки и обычно равен 1000 – 1200.

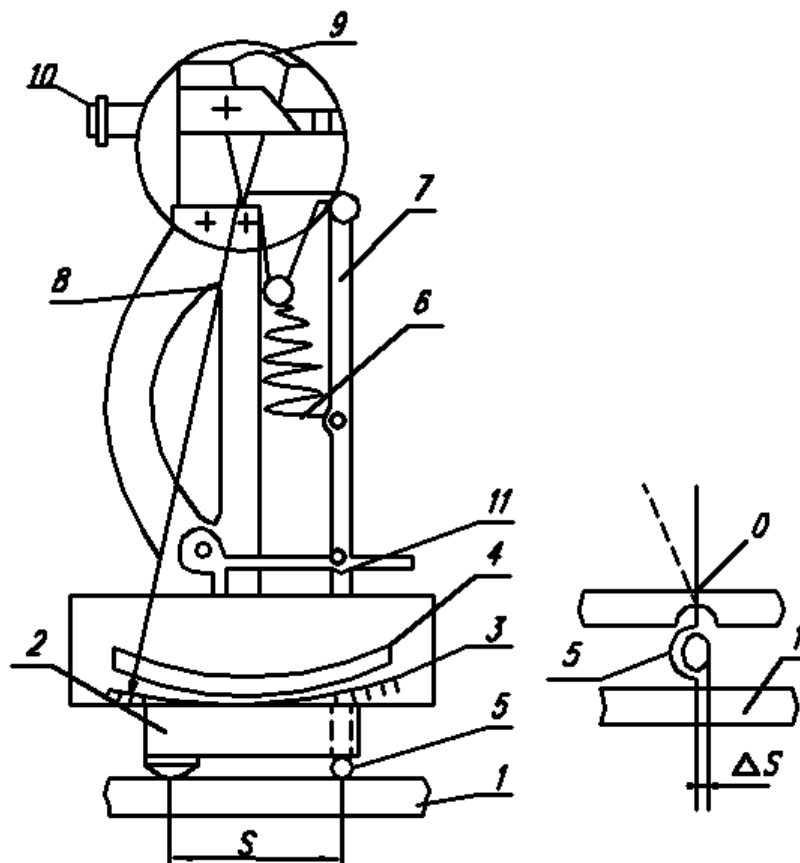


Рис. 11. Схема рычажного тензометра: 1 – образец; 2 – корпус; 3 – шкала; 4 – зеркальце; 5 – подвижная призма; 6 – пружина; 7 – рычаг; 8 – стрелка; 9 – баланси́р; 10 – винт; 11- арритир.

Абсолютная деформация вычисляется по формуле:

$$\Delta S = \frac{n_1 - n_2}{K}. \quad (1)$$

где $n_1 - n_2$ – разность отсчётов по показанию прибора после нагружения (n_2) и до нагружения (n_1) образца.

Относительная деформация образца:

$$\varepsilon = \frac{\Delta S}{S}. \quad (2)$$

Величину нормального напряжения при линейном напряжённом состоянии вычисляют на основании закона Гука по формуле:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E. \quad (3)$$

При плоском напряженном состоянии определяют относительные деформации ε_1 и ε_2 (ε_3) по главным направлениям, а

затем на основании формул обобщённого закона Гука подсчитывают главные напряжения σ_1 σ_2 (σ_3)

$$\sigma_1 = \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_1 + \mu\varepsilon_2) \quad \sigma_2 = \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_2 + \mu\varepsilon_1) \quad (4)$$

где E и μ – соответственно модуль упругости и коэффициент Пуассона материала.

3. Проволочный тензометр сопротивления (тензодатчик)

а) Основные понятия.

Для измерения деформации к испытываемому телу прикрепляют элемент, воспринимающий деформацию и преобразующий её в электрическую величину. Элемент, воспринимающий деформацию тела, называют датчиком. Изменение электрического параметра датчика передаётся на регистрируемый прибор. По виду электрического параметра различают датчики сопротивления, индукционные и ёмкостные.

Наиболее широкое распространение получили проволочные датчики сопротивления (тензодатчики). Их применяют для измерения деформаций как при статических, так и при динамических нагрузках (удар, колебание и т.д.) в лабораторных и производственных условиях, в труднодоступных местах и на движущихся деталях машин, поскольку датчик может быть удален на значительное расстояние от регистрирующего устройства.

Небольшие размеры проволочных датчиков позволяют размещать их на многих участках исследуемой конструкции. Сигналы от всех датчиков поступают на регистрируемое устройство и могут сравнительно просто регистрироваться.

Определение напряжений по измеренной деформации (пользуясь законом Гука) называют тензометрированием.

Тензодатчик (рис.12) состоит из чувствительной решётки 1, выполненной из тонкой проволоки диаметром $(0,015 \div 0,05) \cdot 10^{-3}$ м, имеющей высокое омическое сопротивление (константан, элинвар, нихром и др.). Проволока специальным клеем (бакелитовым БУ-2, БУ-4 т.д.) приклеивается к бумажной (и клеевой) подложке 2, которая затем приклеивается к поверхности исследуемой детали.

К концам проволоки тензодатчика припаивают медные выводные проводники диаметром $(0,1 \div 0,2) \cdot 10^{-3}$ м, с помощью которых датчик подключают к регистрируемому прибору. Длина петли является базой датчика. Обычно применяют датчик с базой $(20, 10. 5$ и $3) \cdot 10^{-3}$ м.

Наиболее широко распространены датчики из инстанционной проволоки диаметром $(0,02 \div 0,03) \cdot 10^{-3}$ м с омическим сопротивлением $120 \div 200$ Ом и базой $l = (5 \div 20) \cdot 10^{-3}$ м.

Для измерения деформации датчик наклеивается на деталь так, чтобы направление решётки совпало с направлением, вдоль которого изменяется деформация. Так, датчик 1 (рис. 13) служит для измерения деформации ε_x , датчик 2 – деформации ε_y . Если база датчика 1 (рис. 12) достаточно мала, то можно считать, что оба датчика измеряют деформацию в точке О.

Для измерения деформаций по изменению сопротивления датчика пользуются установленной опытным путём зависимостью:

$$\varepsilon = \frac{1}{\kappa} \cdot \frac{\Delta R}{R_0}, \quad (5)$$

где ΔR - изменение сопротивления датчика при нагружении;

R_0 - начальное сопротивление;

κ - коэффициент тензочувствительности, зависящий от материала и базы датчиков (для датчиков из константана $\kappa = 1,8 \div 2,2$).

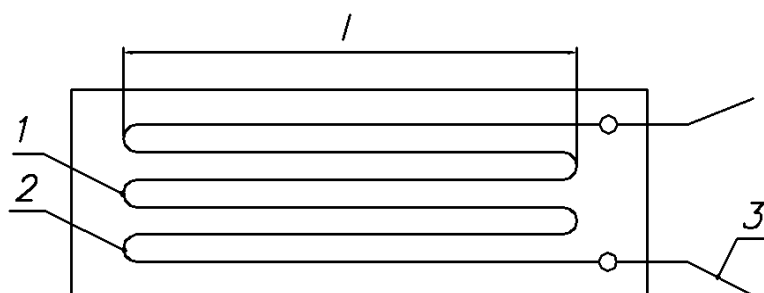


Рис. 12. Проволочный датчик сопротивления (тензодатчик): 1 - чувствительная решётка; 2 – бумажная подложка; 3 – медные выводные проводники

Поскольку изменение сопротивления датчика ΔR очень мало, для его измерения применяют чувствительные регистрирующие устройства, например, автоматические измерители деформаций (АИД), измерители статических деформаций (ИСД и ИД) и др.

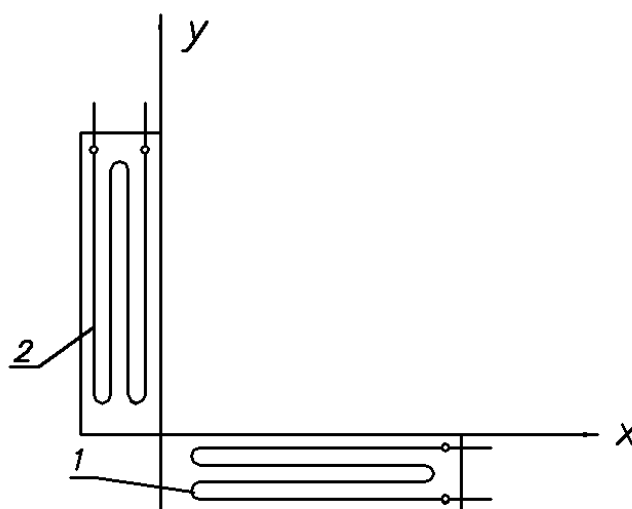


Рис. 13. Схема наклейки датчиков:

1,2 – датчики сопротивления

б. Измерение деформаций прибором ИД (ИСД)

Схема прибора приведена на рис. 14.

Основная часть измерителя деформаций – реохорд вместе с двумя датчиками образуют мостовую схему. Плечи моста образуются сопротивлениями R_0 (рабочий датчик), R_K (компенсационный датчик), R и R^* (реохорд). Рабочий датчик наклеен на деталь, изменение его сопротивления измеряется. Компенсационный датчик служит для уменьшения температурной погрешности в измерении ΔR . Он обычно наклеивается на ненагруженный образец из того же материала что и исследуемая деталь и располагается рядом с рабочим датчиком. К диагонали моста АВ подводится питание, а между точками О и O_1 измеряется электрическое напряжение (в приборах ИСД (ИД) устанавливается гальванометр, фиксирующий силу тока в измерительной диагонали).

В первый момент после подключения датчиков мост будет неуравновешен и между точками О и O_1 появится разность потенциалов, что фиксируется индикатором. Соответствующий ток в измерительной диагонали моста усиливается и подаётся на электромотор, который автоматически смещает движок потенциометра до тех пор, пока мост не уравновесится (в приборах ИСД (ИД) равновесие моста достигается вручную вращением

ручки реохорда). В этот момент на шкале реохорда берётся первый отсчёт n (до нагружения конструкции).

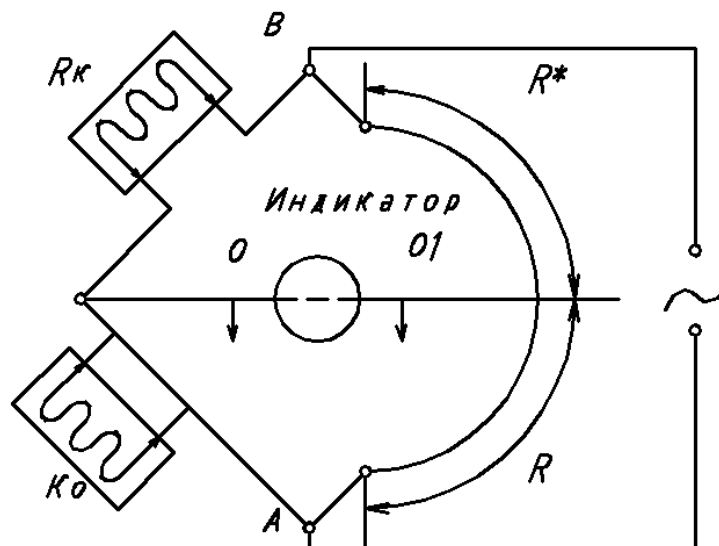


Рис. 14. Схема измерителя деформации типа АИД (ИСД)

После приложения нагрузки сопротивление рабочего датчика R_0 изменяется на величину ΔR и равновесие моста нарушается. Между точками O и O_1 снова появится разность потенциалов (в приборах ИСД в измерительной диагонали появится ток) и электромотор опять автоматически сбалансирует мост, переместив движок в новое положение n_2 (в приборах ИСД вращением ручки реохорды показание гальванометра приводится к нулю, что говорит о равновесии моста).

Разность отсчётов $n_1 - n_2$ пропорциональна изменению сопротивления ΔR и, в соответствии с уравнением (5), пропорциональна величине деформации ε . Всё это позволяет протарировать шкалу реохорда непосредственно в единицах деформации и определить деформацию по формуле:

$$\varepsilon = (n_1 - n_2) \cdot 10^{-5}, \quad (6)$$

где 10^{-5} - цена деления шкалы прибора АИД (ИСД) применительно к датчикам с сопротивлением 120 Ом и коэффициентом чувствительности $K=2$.

б) Определение напряжений.

С этой целью в каждой точке исследуемой детали при помощи датчиков 1,2,3 измеряются ε_x , ε_y , ε_{45° , по соответствующим направлениям (рис. 15). После этого по закону Гука вычисляются величины напряжений σ_x , σ_y , τ_{xy} по формулам:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_x + \mu\varepsilon_y), \\ \sigma_y &= \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_y + \mu\varepsilon_x), \\ \tau_{xy} &= \frac{E}{1-\mu^2}(2\varepsilon_{45^\circ} - \varepsilon_x - \varepsilon_y), \\ G &= \frac{E}{2(1+\mu)};\end{aligned}\quad (7)$$

где G – модуль сдвига.

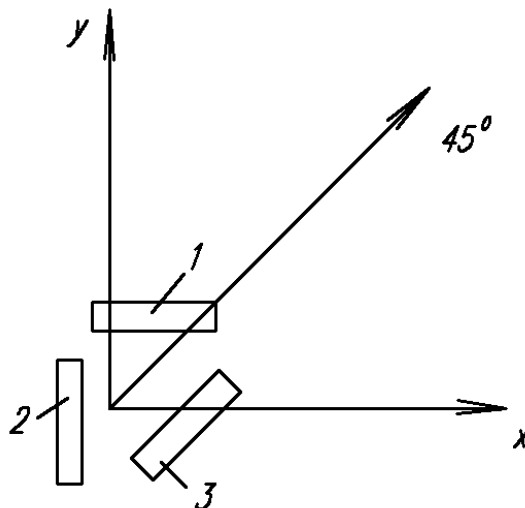


Рис 15. Схема наклейки датчиков при определении напряжений в точке: 1, 2, 3 – датчики сопротивления

Значения главных напряжений σ_{\max} , σ_{\min} и направление главных осей (угол α_0) определяются по формулам:

$$\begin{aligned}\sigma_{\max} \\ \sigma_{\min} &= \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}; \\ \operatorname{tg} 2\alpha_0 &= -\frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y}.\end{aligned}\quad (8)$$

Если направление главных осей известно, достаточно наклеить лишь два датчика по главным направлениям и сразу

можно определить напряжение σ_{\max} , σ_{\min} (по формулам, аналогичным (7) для определения σ_x , σ_y)

Если элемент конструкции испытывает только осевое растяжение или сжатие, достаточно наклеить датчик по направлению продольной деформации и определить напряжение по закону Гука (см. формулу (3)).

Часть II. Выполнение лабораторных работ

Работа №1. Испытание на разрыв стального образца с записью диаграмм

Испытание образца на разрыв являются одним из основных испытаний материала, так как даёт возможность получить многие важные характеристики этого материала, относящиеся не только к случаю растяжения, но и к другим видам деформации.

Сопротивляемость материала растяжению, его прочность и пластичность устанавливаются по кривой зависимости между действующей силой и деформацией.

Цель работы:

1. Определить основные механические характеристики материала: предел пропорциональности, предел текучести, предел прочности, относительное остаточное удлинение и относительное остаточное сужение поперечного сечения образца при разрыве.

2. Вычислить работу внутренних сил, затраченную на разрыв образца.

3. Проследить повышение предела пропорциональности материала образца при разгрузке и повторном нагружении за пределом текучести (явление наклёпа), ознакомиться с явлением гистерезиса.

4. Установить марку стали, пользуясь справочной таблицей.

Характеристика образца. Результаты испытаний в заметной мере зависят от форм и размеров образцов, поэтому для получения сопоставимых результатов используются стандартные образцы преимущественно круглого поперечного сечения диаметра d_0 и расчётной длины l_0 (рис. 16).

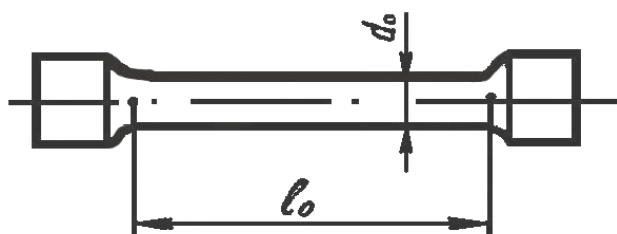


Рис. 16. Схема образца

Расчетной длиной l_0 образца называется длина его цилиндрической части, в пределах которой производится измерение остаточного удлинения после разрыва.

ГОСТ устанавливает два типа цилиндрических образцов:
 а) длинный (десятикратный), у которого расчетная длина $l_0=10d_0$;
 б) короткий (пятикратный), у которого $l_0=5d_0$.

До испытаний диаметр образца измеряется в трёх местах по длине с помощью микрометра или штангенциркуля с точностью до $0,02 \cdot 10^{-3}$ м. По наименьшему из полученных размеров определяют площадь поперечного сечения образца. Для определения абсолютного удлинения образца замеряется расчетная длина l_0 с точностью до $0,1 \cdot 10^{-3}$ м. Размеры образца до испытания и после испытания заносятся в таблицу.

Испытание образца. Испытание производится на универсальной испытательной машине УМ-5. Образец закрепляется в машине и растягивается силой, постепенно возрастающей от нуля до величины, разрушающей образец. Диаграмма растяжения записывается в масштабах: по оси нагрузок $1 \cdot 10^{-2}$ м - 5000 Н, по оси деформаций $1 \cdot 10^{-2}$ м - $0,01 \cdot 10^{-2}$ м.

На диаграмме растяжения (рис. 17) можно выделить характерные участки.

Небольшой начальный участок O_1A диаграммы представляет собой пологую кривую, которая является результатом обжатия головок образца и устранения зазоров в узлах машины.

Наклонный прямолинейный участок OB диаграммы, соответствующий прямой пропорциональной зависимости между нагрузкой и деформацией (закону Гука). Точка B соответствует нагрузке $F_{рч}$, после достижения которой диаграмма становится криволинейной (участок BC).

За точкой C диаграммы начинается участок CC_1 , в пределах которого нагрузка F_y остаётся практически постоянной, а деформации образца значительно возрастают - происходит явление текучести материала. Встречаются материалы, диаграммы растяжения которых не имеют площадки текучести CC_1 . В этом случае рекомендуется определять величину F_y условно, соответствующую остаточному удлинению $\Delta l_{ост}=0,002l_0$. При

прямой пропорциональности между нагрузкой и деформацией в результате повторного нагружения называется наклёпом.

Порядок выполнения работы.

1. Замеряется диаметр поперечного сечения и длина расчётной части образца.

2. Образец закрепляется в захватах разрывной машины.

3. К миллиметровой бумаге, намотанной на барабан диаграммного механизма, подводится перо записывающего устройства.

4. Включается электромотор машины и ведётся наблюдение за вычерчиваемой диаграммой, силоизмерительным устройством и состоянием образца в процессе растяжения.

5. Для выяснения влияния наклёпа на механические свойства после выхода диаграммы за площадку текучести, машина останавливается, производится разгрузка образца и повторное его нагружение.

6. После разрушения образца электромотор выключается, образец вынимается из захватов машины и производится замер его диаметра в шейке и новой длины l_1 расчётной части.

Обработка результатов испытания.

1. Для каждой диаграммы из начала кривой $F-\Delta l$ проводится ось, соответствующая деформации образца. Из точки пересечения прямой OB , являющейся продолжением прямолинейного участка диаграммы, с осью деформации, проводится перпендикулярная ось, соответствующая нагрузкам, действующим на образец.

2. По диаграмме растяжения устанавливают её характерные точки B , C , D и K и измеряют:

$F_{рч}$ - нагрузку, соответствующую пределу пропорциональности;

F_y - нагрузку, соответствующую пределу текучести;

F_u - нагрузку, соответствующую пределу прочности;

F_k - нагрузку в момент разрыва.

В случае отсутствия на диаграмме явно выраженной площадки текучести измеряется нагрузка, отвечающая условному пределу текучести при относительной остаточной деформации 0,2%.

3. По измеренным значениям нагрузок вычисляют пределы пропорциональности, текучести, прочности, а также условное напряжение в момент разрыва в соответствии с общей формулой:

$$\sigma = \frac{F}{A_0},$$

где A_0 - площадь поперечного сечения образца до испытания.

Действительное сопротивление разрыву бист при растяжении вычисляют по формуле:

$$\sigma = \frac{F_k}{A_k},$$

где A_k - площадь сечения образца в месте разрыва (площадь шейки).

4. Определяют механические характеристики пластичности:

а) относительное остаточное удлинение δ образца (в процентах) при разрыве:

$$\delta = \frac{\Delta l_{ост}}{\Delta l_0} \cdot 100\% = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100\%,$$

где l_k - конечная длина образца после разрыва.

б) относительное сужение поперечного сечения образца при разрыве:

$$\psi = \frac{A_0 - A_k}{A_0} \cdot 100\%.$$

3) полную W и удельную a работу, затраченную на разрыв образца. Полная работа, затраченная на разрыв образца, изображается площадью диаграммы ОСДКК₁О. Приблизённо ёе вычисляют по формуле:

$$W = cF_u \Delta l_{полн} = cF_u (\Delta l_{ост} + \Delta l_{упр})$$

где c - коэффициент полноты диаграммы растяжения.

Как показали опыты, для всех марок стали $c=0,8...0,9$.

Удельная работа a вычисляется по формуле:

$$a = W/V_0,$$

где $V_0 = A_0 l_0$ - первоначальный объём образца.

Работа №2. Определение упругих постоянных материала

Цель работы: определение экспериментальным путём упругих постоянных - коэффициента Пуассона и модуля продольной упругости стали.

Характеристика образца. Испытанию подвергается стальной образец прямоугольного поперечного сечения со сторонами a , b , высотой h и площадью A_0 . Схема образца и размещение на нём тензометров показана на рис. 18.

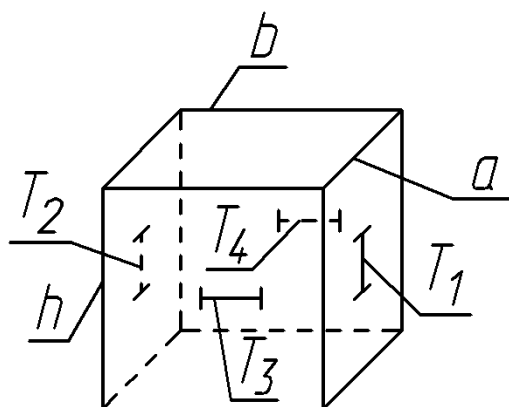


Рис.18. Схема размещения тензодатчиков

Подготовка и проведение испытания. Испытание производится на универсальной испытательной машине УМ-5 или на МУП--50, или на испытательной машине Р-10.

Измерение деформации выполняется электрическими тензометрами (тензодатчиками), описание устройства которых приведено в соответствующем разделе настоящего руководства.

На образец наклеиваются тензодатчики для измерения продольных и поперечных деформаций. Чтобы исключить влияние эксцентриситета приложения нагрузки, для замера каждой деформации применяются два тензометра. Как видно из схемы, с помощью тензометров T_1 и T_2 замеряют продольную деформацию, а тензометрами T_3 и T_4 - поперечную.

Образец следует нагружать в пределах пропорциональности, поэтому рекомендуется предварительно подсчитать величину нагрузки, которую можно допустить на образец, и наметить величину ступени нагрузки.

Нагружение образца производится одинаковыми ступенями, при каждой ступени нагрузки записываются показания всех четырёх тензодатчиков и проверяется наличие пропорциональности между нагрузками и деформациями. Иногда для повышения точности измерений прибегают к снятию показаний и при разгрузке образца. В этом случае снятие показаний тензодатчиков производят с "положения загрузки": нагрузку снижают на 0,50...1,0 кН ниже номинальной величины, а затем производят догрузку до номинального значения.

Снятие отсчётов по каждому тензодатчику производится с помощью измерителя деформаций ИД-62 (ИД-62М) - с ручной балансировкой моста, или АИД-2 - с автоматической балансировкой моста. Описание устройства и работы этих приборов приведены в соответствующем разделе руководства.

Порядок выполнения работы.

1. Штангенциркулем измеряются размеры образца.
2. Образец устанавливается на нижнюю плиту машины так, чтобы линия действия силы при нагружении образца примерно совпадала с осью образца.
3. К образцу через ручной привод машины прикладывается небольшая начальная сжимающая нагрузка, при которой делаются первые отсчёты по показаниям всех тензодатчиков; эти показания заносятся в соответствующие графы журнала лабораторных работ.
4. Сжимающая нагрузка увеличивается равными ступенями и при каждой ступени нагружения снимаются отсчёты по приборам.
5. После 3-4 ступеней нагружения опыт заканчивается и образец разгружается.

Обработка результатов испытания.

1. Подсчитывают разность между последующим и предыдущим отсчетами по каждому тензодатчику.

Средние относительные деформации вычисляют по формулам:

$$\varepsilon_{np} = \frac{1}{2} \left(\frac{\sum \Delta n_1}{i} + \frac{\sum \Delta n_2}{i} \right) \cdot Ц,$$

$$\varepsilon_{nn} = \frac{1}{2} \left(\frac{\sum \Delta n_3}{i} + \frac{\sum \Delta n_4}{i} \right) \cdot C$$

Здесь $C = 10^{-5}$ - цена деления измерителя деформации ИД-62 или АИД-2;

Δn – разность отсчётов.

4. Вычисляют коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона):

$$\mu = \left| \frac{\varepsilon_{nn}}{\varepsilon_{np}} \right|$$

5. Определяют модуль продольной упругости E на основании закона Гука :

$$E \cdot \frac{\sigma}{\varepsilon_{np}} = \frac{F}{A_0 \cdot \varepsilon_{np}},$$

где F - ступень нагрузки в кН;

A_0 - площадь поперечного сечения образца.

6. Сравнивают экспериментальные значения μ и E с теоретическими.

Работа №3. Испытание на сжатие пластичных, хрупких, изотропных и анизотропных материалов

Цель работы:

1. Изучение особенностей поведения и характера разрушения при сжатии пластичных, хрупких, изотропных и анизотропных материалов.

2. Определение механических характеристик прочности материалов при сжатии.

Характеристика образцов. Испытанию на сжатие пластичного материала (мягкая сталь, медь, алюминий) или хрупкого материала (чугун, латунь) подвергаются цилиндрические образцы диаметром d_0 , высотой $h_0 = 1,5d_0$.

При меньшей высоте образца силы трения, действующие по его торцевым поверхностям, оказывают значительное влияние на

развитие деформаций и прочность материала. Образцы с большей высотой не рекомендуются применять вследствие влияния продольного изгиба.

Образцы имеют форму куба (рис. 19). До испытания следует определить влажность образцов $W\%$.

Испытание образцов. Испытания проводятся на универсальной испытательной машине УМ-5 или МУП-50.

Диаграммы напряжений при сжатии образцов из стали, чугуна и дерева (вдоль и поперёк волокон) приведены на рис. 20.

Сжатие образца из мягкой стали. Из диаграммы видно, что при сжатии вначале наблюдается линейная зависимость между нагрузками и деформациями, которая затем нарушается.

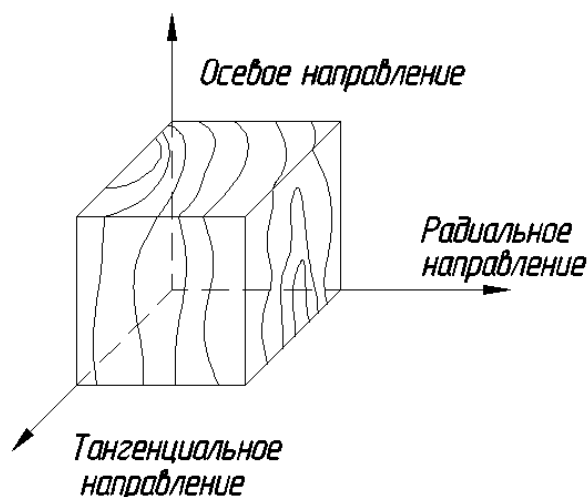


Рис. 19. Направление волокон в деревянном образце

Разрушение в прямом смысле слова отсутствует, т. к. с ростом нагрузки происходит увеличение поперечного сечения образца. Поперечные деформации сечений образца вблизи его торцов растут медленнее вследствие влияния сил трения, развивающихся по торцевым поверхностям. Образец после испытания имеет ясно выраженную бочкообразную форму.

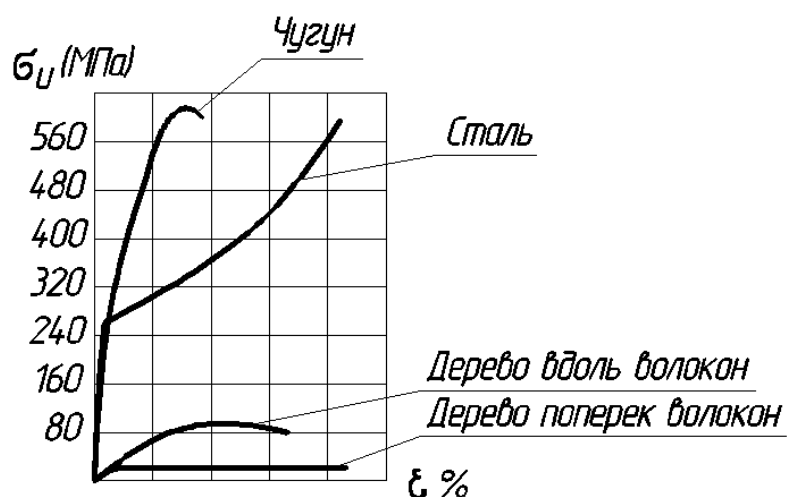


Рис. 20. Диаграммы сжатия образцов из различных материалов.

Сжатие образцов из чугуна. Линейной зависимости между нагрузками и деформациями при сжатии чугунного образца обычно не наблюдается. Укорочение образца весьма незначительно. В процессе испытания чугуна появляется слабо выраженная бочкообразность формы. В момент, когда нагрузка достигает наибольшего значения F_u , а напряжения - предела прочности, образец внезапно разрушается, появляются характерные наклонные трещины от сдвига. Практически вследствие влияния трения на торцах угол наклона плоскости разрушения находится в пределах 45° - 60° .

Сжатие образцов из дерева вдоль и поперёк волокон. При сжатии образца вдоль волокон вплоть до разрушения образец приобретает меньшие остаточные деформации по сравнению со сжатием поперёк волокон. При нагрузке F_u , соответствующей разрушению, происходит образование поперечных складок и смятие торцов. Нередко возникают наклонные складки и продольные трещины. При сжатии образца поперёк волокон (радиальное направление) после достижения некоторого значения нагрузки кубик продолжает деформироваться почти без увеличения сжимающей силы.

Для определения предела прочности условно считают, что при разрушающей нагрузке кубик сжимается на $1/3$ своей первоначальной высоты. Значительный рост деформаций образца

практически без увеличения нагрузки происходит за счёт его прессования (уплотнения).

Порядок выполнения работы.

а) Сжатие образца из пластичного металла.

1. С помощью штангенциркуля измеряются диаметр и длина образца. Данные заносятся в журнал лабораторных работ.

2. Образец помещается на специальное центрирующее приспособление, которое устанавливается на испытательной машине так, чтобы линия действия сжимающего усилия совпала с осью образца.

3. К миллиметровой бумаге, намотанной на барабан диаграммного механизма машины, подводится перо записывающего устройства.

4. Включается электродвигатель машины и ведётся наблюдение за вычерчиваемой диаграммой, силоизмерительным устройством и состоянием образца в процессе его сжатия.

5. Испытание продолжается до тех пор, пока полная деформация образца не составит примерно $1/3$ от первоначальной его высоты. После чего электродвигатель выключается, образец вынимается, с диаграммного механизма снимается записанная диаграмма.

б) Сжатие образца из хрупкого материала.

Работа проводится аналогично испытанию образца из пластичного материала с той лишь разницей, что: 1) испытание продолжается до разрушения образца; 2) разрушающая нагрузка определяется по показанию контрольной стрелки силоизмерительного устройства машины.

в) Сжатие деревянных образцов.

1. Штангенциркулем измеряются размеры образца.

2. Образец устанавливается на центрирующее приспособление машины так, чтобы обеспечить центральное приложение сжимающей силы. При испытании образца на сжатие вдоль волокон его торцевые срезы должны быть обращены к опорным подушкам машины.

Для испытания дерева поперёк волокон образец устанавливается так, чтобы сжатие производилось в радиальном направлении по отношению к годовым кольцам

3. Плавню подвоят вручну нижнюю опорную подушку машины до соприкосновения образца с верхней подушкой включается электромотор машины, следят за поведением образца в процессе испытания.

4. При сжатии образца вдоль волокон нагрузка после достижения разрушающего значения начнёт уменьшаться, испытание прекращается.

При сжатии образца поперёк волокон явного разрушения не происходит; в процессе этого испытания ведётся наблюдение с помощью линейки за высотой образца. Испытание прекращается, когда первоначальная высота образца уменьшится на одну треть.

Обработка результатов опыта.

1. По диаграмме сжатия стали определяют её предел текучести σ_u и условный предел прочности σ_{bi} .

2. По диаграмме сжатия чугуна определяют его предел прочности σ_{bi} .

3. Определяют предел прочности σ_{bi} при испытании дерева вдоль и поперёк волокон:

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

Если влажность W % образцов в момент испытания отличается от стандартной 15%-ной, то производится перерасчёт напряжения по эмпирической формуле:

$$\sigma_{u,15} = \sigma_{u,w} \cdot [1 + \alpha(W - 15)],$$

где α - поправочный коэффициент (для сосны, берёзы $\alpha=0,05$; для ели, дуба $\alpha=0,04$)

$\sigma_{u,w}$ - напряжение, найденное при испытании образца с влажностью W %.

4. Зарисовывают в журнал лабораторных работ эскизы образцов до и после разрушения.

Работа №4. Испытание на срез стального и деревянного образцов

Если в опасном сечении бруса возникают касательные напряжения, равные или превышающие величину нормальных напряжений (например, в элементах заклёпочных, болтовых соединений), то практический расчёт на прочность приближённо производится по величине осреднённых (равномерно распределённых) касательных напряжений:

$$\tau_{cp} = \frac{F_{cp}}{A_{cp}} \leq R_{cp},$$

где R_{cp} – расчётное сопротивление на срез;

A_{cp} - площадь среза.

Цель работы:

1. Определение максимального касательного напряжения для стали при срезе (предела прочности на срез) и сравнение полученной величины с пределом прочности на растяжение.

2. Определение предела прочности древесины при срезе (скалывании) вдоль волокон.

1. Испытание стального образца.

Испытанию на двойной срез подвергают цилиндрический стальной образец диаметром d и длиной l_0 , помещаемый в специальное приспособление (см. рис. 21).

Приспособление состоит из серьги 1, вставляемой между щеками вилки 2. В отверстия серьги и вилки вставлены втулки из инструментальной закалённой стали. При этом образец подвергается срезу по двум плоскостям.

Порядок выполнения работы.

1. Замеряется штангенциркулем диаметр поперечного сечения образца.

2. Образец закладывается в приспособление, которое вставляется затем между опорными подушками машины.

3. Машина включается кнопкой "вперёд" и ведётся наблюдение за шкалой силоизмерительного устройства.

4. В момент среза образца фиксируется величина разрушающей нагрузки (по контрольной стрелке силоизмерителя), и машина выключается.

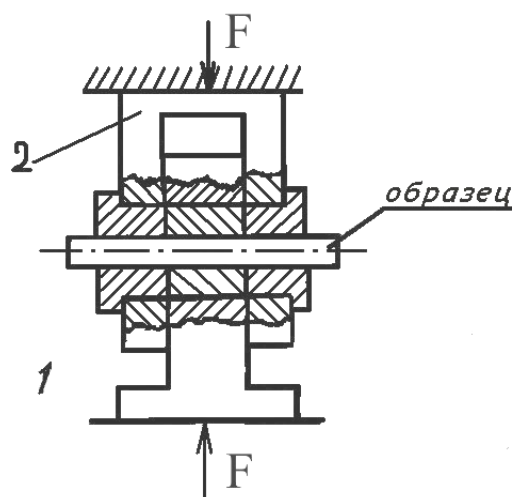


Рис. 21. Приспособление для испытания на срез

Образец извлекается из приспособления и осматриваются поверхности среза. Следует обратить внимание на зоны смятия, на цилиндрической поверхности образца и на наличие местных изгибов в зонах его среза.

Обработка результатов испытания.

Определяется условный предел прочности стали на срез:

$$\tau_{cp} = \frac{F_{cp}}{A_{cp}} = \frac{F_{cp}}{\frac{2\pi d^3}{4}}$$

Подсчитывается отношение $\frac{\tau_{cp}}{\sigma_u}$ и сравнивается с

аналогичным соотношением для чистого сдвига (обычно $\frac{\tau_{cp}}{\sigma_u} = 0,6$).

2. Испытание древесины на скалывание вдоль волокон.

При испытании древесины используется специальный образец, форма и размеры которого установлены ГОСТом (рис. 22).

Испытания производятся на машине УМ-5 с применением специального приспособления (см. рис.23).

Порядок выполнения работы.

1. Замеряются штангенциркулем (с точностью до 0,1 мм) основные размеры образца. Фиксируется влажность образца.

2. Образец закладывается в приспособление таким образом, чтобы уширенная часть его находилась внизу, а между нижним концом образца и дном приспособления оставался зазор.

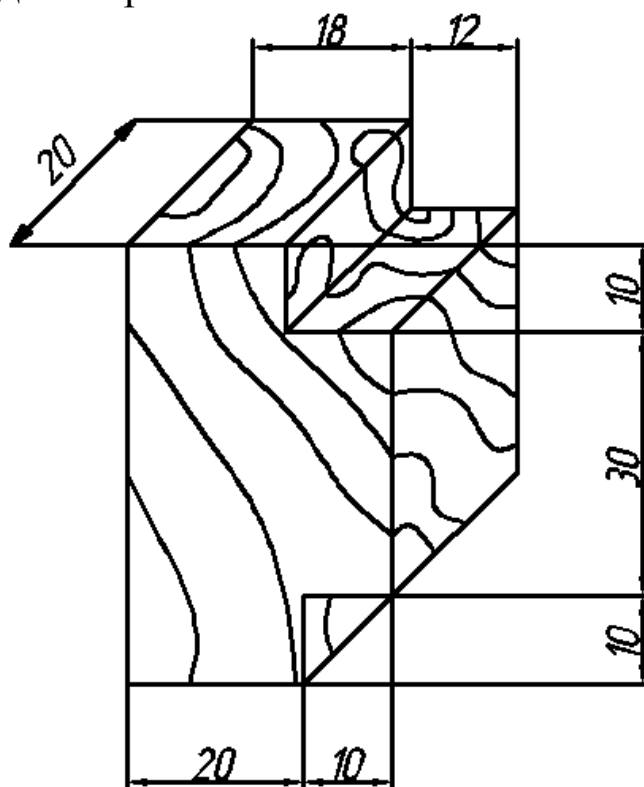


Рис.22. Деревянный образец для испытания на скалывание.

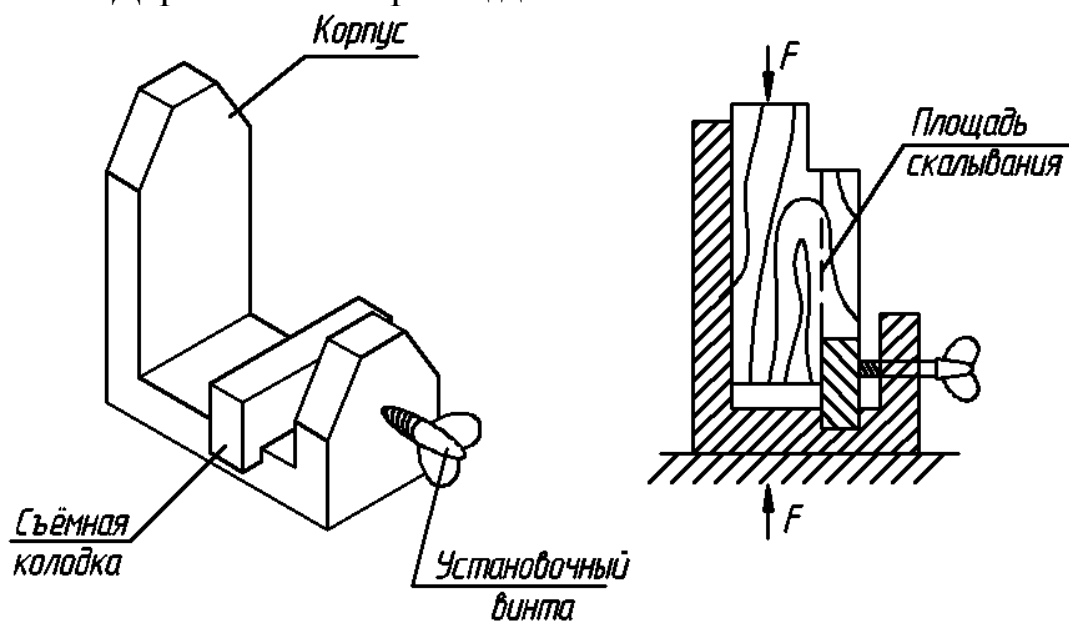


Рис.23. Приспособление для испытания на скалывание.

Затем приспособление вместе с образцом помещается между опорными подушками машины УМ-5, необходимо проследить, чтобы центры верхней торцевой поверхности образца и верхней подушки прессы совпадали.

3. Кнопкой "вперёд" включается машина в работу и ведётся наблюдение за шкалой силоизмерительного устройства.

4. В момент разрушения образца фиксируется разрушающая сила, выключается машина, снимается приспособление и извлекается образец.

Обработка результатов.

1. В лабораторный журнал записываются необходимые размеры образца (по которым вычисляется площадь скалывания), также значение влажности древесины.

$$\tau_{ск} = \frac{F_{ск}}{A_{ск}}$$

2. По формуле подсчитывается предел прочности древесины при скалывании вдоль волокон. Вычерчивается эскиз образца после разрушения. Разрушение носит хрупкий характер при незначительных остаточных деформациях.

3. Если влажность W % образца в момент его испытания отличается от стандартной 15%-ной, то производится дополнительный перерасчёт прочности по эмпирической формуле:

$$\tau_{\max(15)} = \tau_{\max(w)} [1 + 0,03(W - 15)], \frac{H}{M^2}$$

где $\tau_{\max(w)}$ - предел прочности при скалывании, найденный при испытании образца с влажностью W %.

Работа №5. Испытание стального образца на кручение

а) В пределах упругой деформации.

Для изотропных материалов в пределах упругих деформаций установлена следующая связь между модулем Юнга E , коэффициентом Пуассона μ и модулем сдвига G :

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

G - модуль может быть непосредственно определён опытным путём, исходя из закона Гука при кручении:

$$\varphi = \frac{T \cdot l}{G \cdot I_p}$$

Цель работы:

1. Проверить справедливость закона Гука при кручении.
2. Определить модуль сдвига G при кручении стального образца.

Для проверки справедливости закона Гука и определения модуля сдвига используется цилиндрический стальной образец диаметром d_0 и рабочей длиной l_0 . Образец вставляется в захваты специальной демонстрационной установки.

Демонстрационная установка (см. рис. 24) состоит из неподвижного захвата 1, жёстко связанного со станиной, и подвижного захвата 2, укрепленного на валике 3.

Свободный конец валика соединён с рычагом 4 (длина рычага $l_p=1$ м), который служит для подвешивания грузов 5 и передачи крутящего момента на образец 6.

Для определения угла взаимного поворота сечений С и В образца применяется специальный угломер. Он состоит из Г-образного 7 и упорного 8 стержней. На конце стержня 8 закрепляется индикатор 9, который своим штифтом касается плоскости стержня 7 в точке С. Оба стержня закреплены неподвижно относительно образца при помощи разъёмных муфт 10. Поворот сечения С по отношению к сечению В фиксируется индикатором.

Для устранения люфтов и обжатия установки образец нагружают предварительным скручивающим моментом T_0 . Дальнейшее нагружение производят ступенями ΔT .

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

Порядок выполнения работы.

1. Замеряется диаметр поперечного сечения образца d_0 и его рабочая длина l_0 , подсчитывается полярный момент инерции

поперечного сечения $J_p = \frac{\pi d_0^4}{32} [\text{м}^4]$. Измеряется также расстояние

R от оси образца до оси штифта индикатора. Эти данные заносятся в лабораторный журнал.

2. Скручивающий момент $T = F \cdot l_p$, приложенный к образцу, увеличивается равными ступенями (4-5 ступеней по 10 Н·м) и при каждой ступени нагружения снимается отсчёт по индикатору. Крутящий момент T в сечениях образца равен скручивающему моменту. Затем образец разгружается.

Обработка результатов.

1. Подсчитываются приращения показаний индикатора, соответствующие каждой i-ой ступени нагружения

$$\Delta n_i = n_{i+1} - n_i.$$

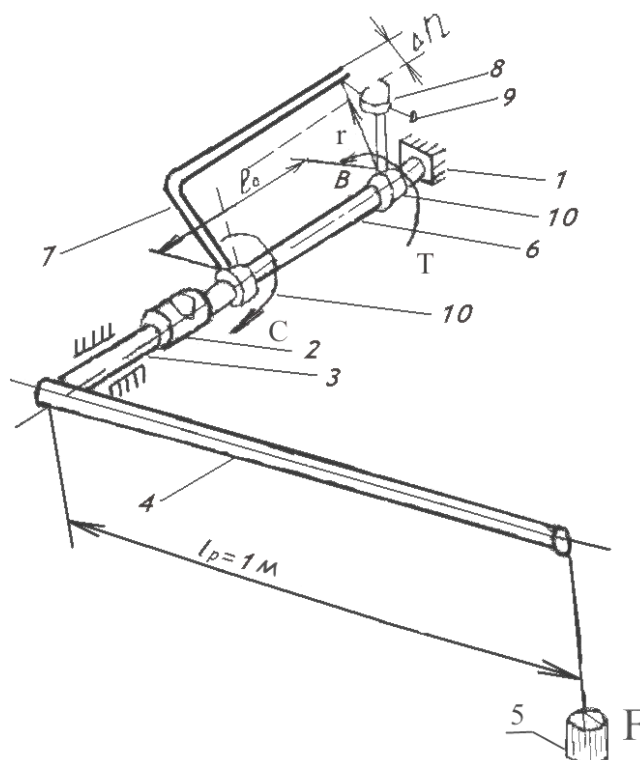


Рис. 24. Схема установки для испытания на кручение: 1- неподвижный захват; 2-подвижный захват; 3-валик захвата; 4-рычаг; 5-груз; 6-образец; 7-поводок Г-образный; 8-поводок прямой; 9-индикатор; 10-муфта

2. Определяется среднее значение приращения показаний индикатора на ступень нагрузки:

$$\Delta n_{cp} = \frac{\sum \Delta n_i}{i},$$

где i - число ступеней нагружения.

3. Средний угол закручивания на ступень нагружения определяется по формуле:

$$\operatorname{tg} \varphi_{cp} = \frac{\Delta n_{cp}}{r} \approx \Delta \varphi_{cp}.$$

Зависимость $\varphi = \varphi(T)$ изображается графически в журнале лабораторных работ.

Определив величину $\Delta \varphi_{cp}$, вычисляют модуль упругости G при сдвиге:

$$G = \frac{\Delta T \cdot l_0}{\Delta \varphi_{cp} \cdot I_p}$$

4. Найденное значение G сравнивается с теоретическим, подсчитанным по формуле:

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

где $\mu_{\text{теор}} = 0,25 - 0,33$;

$E_{\text{стали}} = (2 - 2,2) \cdot 10^5$ МПа.

б) Испытание образцов из различных материалов с доведением до разрушения.

Цель работы:

1. Установить величины предела прочности при кручении пластичных и хрупких образцов.

2. Сравнить характеры разрушения стального, чугунного и деревянного образцов.

Испытания производятся на машине КМ-50-1.

1. Испытание стального образца.

В процессе испытания может быть записана диаграмма кручения. Типичный вид диаграммы кручения представлен на рис. 25.

В начале испытания наблюдается прямая пропорциональная зависимость между величиной угла закручивания и крутящим моментом (область упругих деформаций).

Дальнейшее нагружение образца приводит к нарушению прямой пропорциональности, и наклонная прямая на диаграмме переходит в пологую кривую. Это указывает на развитие пластических деформаций.

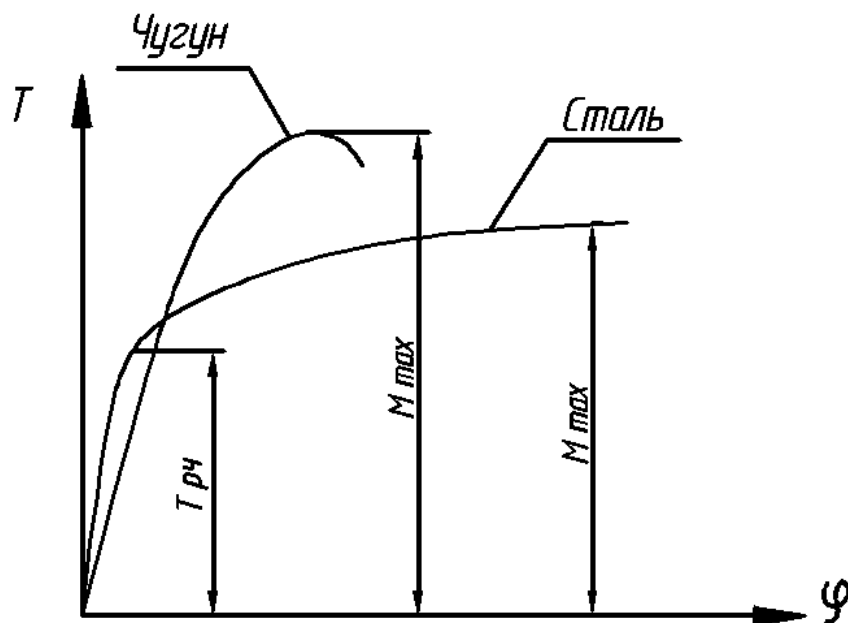


Рис. 25. Диаграммы кручения образцов из стали и чугуна.

Касательные напряжения в поперечном сечении при кручении (при работе материала в упругой стадии) распределяются по линейному закону (рис. 26а).

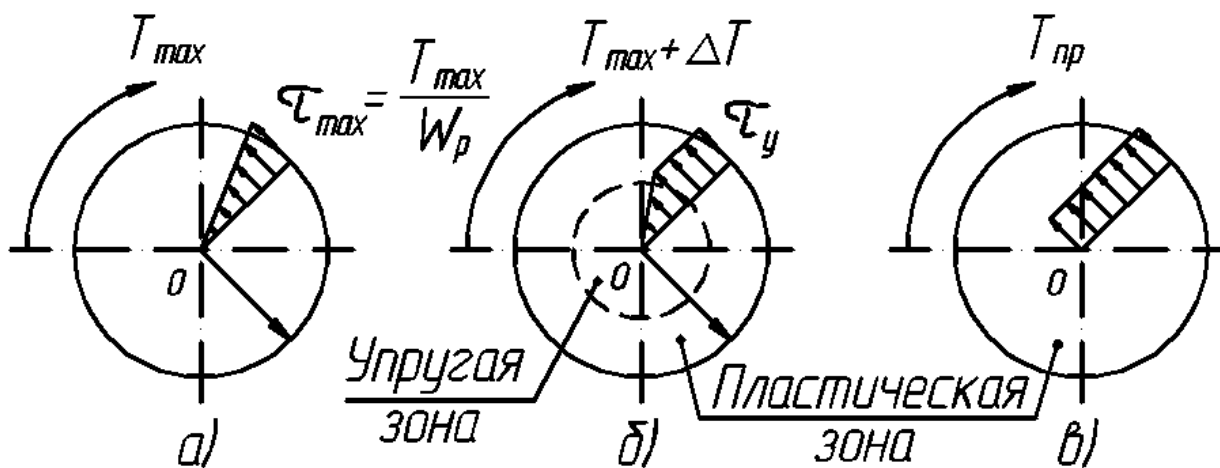


Рис. 26. Эпюры касательных напряжений при кручении.

По мере нагружения образца явление текучести наступает сначала в поверхностном слое. При дальнейшем возрастании крутящего момента сверх величины T_{max} до $T_{max} + \Delta T$ (T_{max} - максимальный момент при упругом кручении, величина которого определяется максимальными напряжениями в поверхностном слое, равными пределу текучести τ_y):

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

Напряжения достигают величины, равной пределу текучести τ_y и в более глубоких слоях сечения, образуя кольцевую зону пластического состояния.

В средней же части сечения (рис 26б) напряжения будут ниже предела текучести, образуя зону упругого состояния.

В пределе пластическая зона заполнит всё сечение (рис. 26в), несущая способность материала будет полностью исчерпана, и напряжения во всех толках сечения равны τ_y . При этом

$$T_{np} = \int_0^r 2\pi\rho^2 \tau_y d\rho = \frac{2}{3} \pi r^3 \tau_y = W_p^m \cdot \tau_y,$$

где W_p^m - пластический момент сопротивления.

Разрушение образца происходит без образования шейки по плоскости, перпендикулярной к оси образца (рис. 27). Сечение образца в месте разрушения имеет вид гладкой поверхности, как бы срезанной ножом.

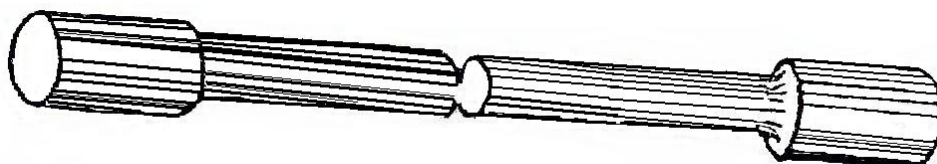


Рис. 27. Вид разрушения стального образца при кручении.

Порядок выполнения работы.

1. Замеряются размеры образца.
2. Образец закрепляется в захватах машины и для визуального наблюдения за деформацией на поверхности образца наносится меловая линия, параллельная его геометрической оси. В процессе деформирования эта линия становится винтовой.
3. Машина включается и по шкале силоизмерительного устройства определяется величина разрушающего крутящего момента $T_{пр}$.
4. Разрушенный образец вынимается из захватов машины, изучается характер его разрушения; выполняется эскиз разрушенного образца.

II. Испытание чугунного образца.

Работа проводится по той же методике, которая принята при испытании стального образца. Образец разрушается по винтовой поверхности, наклонённой примерно под углом 45° к оси образца (см. рис. 28).

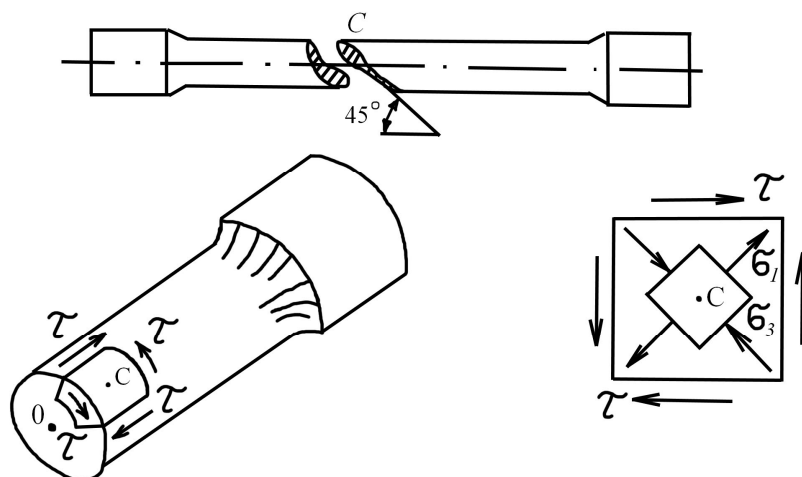


Рис. 28. Распределение касательных напряжений при кручении и вид разрушения образца из хрупкого материала.

Рассматривая напряжённое состояние выделенного в окрестностях точки С образца элементарного кубика, можно установить причину разрушения чугунного образца. Выделенный элемент находится в условиях чистого сдвига, т.к. по его граням в поперечном и продольном (по закону парности) направлениях действуют касательные напряжения. Согласно теории чистого сдвига на площадках, наклоненных под 45° к граням рассматриваемого элемента возникают главные напряжения: $\sigma_1 = +\tau$ - наибольшее растягивающее, $\sigma_3 = -\tau$ - наибольшее сжимающее напряжение (рис. 28). Ввиду того, что чугун плохо сопротивляется действию растягивающих напряжений, разрушение происходит по площадкам, на которых действуют растягивающие напряжения σ_1 .

III. Испытание деревянного образца.

В качестве образца берётся деревянный брус прямоугольного поперечного сечения, ось которого направлена вдоль волокон.

Разрушение образца происходит путем расслаивания волокон (рис. 29).



Рис. 29. Характер разрушения деревянного образца при кручении.

Такой характер разрушения объясняется тем, что при кручении образца возникают касательные напряжения (по закону парности касательных напряжений) не только в поперечном сечении, но и в продольном направлении.

Продольные касательные напряжения и являются причиной разрушения, поскольку сопротивление древесины скалыванию вдоль волокон невелико.

Обработка результатов.

1. В лабораторный журнал заносятся размеры поперечного сечения образцов, по которым вычисляются полярный момент сопротивления

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

$W_p^T = \frac{\pi d^3}{12}$ и момент сопротивления при кручении стержня

прямоугольного сечения

$$W_K = \alpha h b^2,$$

где h - высота прямоугольного сечения;

b - его ширина;

α - коэффициент, зависящий от соотношения h/b , принимается по ниже приведённой таблице 1.

Таблица 1

h/b	1	2	3	4	5	10
α	0,21	0,25	0,27	0,28	0,29	0,31

2. По величине разрушающего крутящего момента вычисляется предел прочности при кручении образца пластичного

материала $\tau_u = \frac{T_{\max}}{\frac{\pi \cdot d^3}{12}} [МПа]$, хрупкого материала –

$\tau_u = \frac{T_{\max}}{\frac{\pi \cdot d^3}{16}} [МПа]$, для деревянного образца – $\tau_u = \frac{T_{\max}}{W_K} [МПа]$.

3. Сопоставляются характеры разрушения при кручении стального, чугунного и деревянного образцов.

Работа №6. Испытание балки на поперечный изгиб

Цель работы:

1. Проверить закон распределения нормальных напряжений по высоте поперечного сечения балки при чистом изгибе.

2. Определить величины главных напряжений при прямом изгибе на уровне нейтрального слоя.

3. Проверить опытным путём теоретические формулы для определения перемещений при изгибе.

Изгибу подвергается стальная балка двутаврового поперечного – сечения (двутавр №18), нагруженная как показано на рис. 30.

Нагружение осуществляется с помощью винта через динамометр системы Токаря.

Для определения нормальных напряжений используются проволочные тензодатчики, снятие отсчётов по которым производится с помощью прибора ИД-62М. (Цена деления $\varrho = 1 \cdot 10^5$).

Для определения прогиба в сечении К (посередине пролета) установлен стрелочный индикатор с ценой деления $0,01 \cdot 10^{-3}$ м.

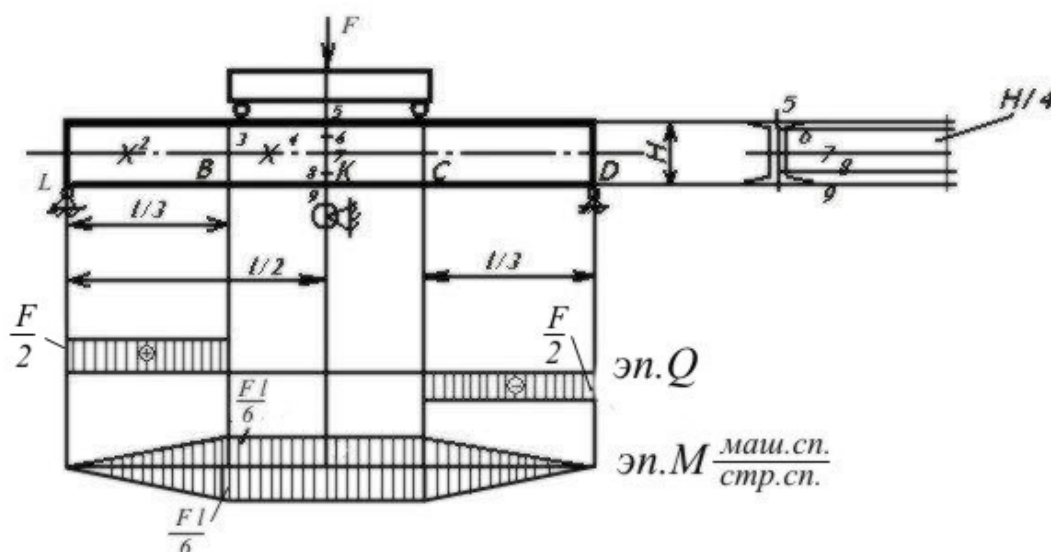


Рис. 30. Схема испытания балки.

I. Определение нормальных напряжений в поперечном сечении при чистом изгибе.

Закон распределения нормальных напряжений по высоте сечения "К" балки можно установить опытным путём, замерив с помощью тензодатчиков, наклеенных в точках 5, 6, 7, 8, 9, деформации соответствующих волокон.

Нормальные напряжение в каждой i -той точке подсчитываются по закону Гука для линейного растяжения (сжатия):

$$\sigma_i = \varepsilon_i E = \Delta n_i \text{ЦЕ}; \quad i = 5; 6; 7; 8; 9.$$

Порядок выполнения работы:

1. Включается в сеть регистрирующий прибор ИД-62М. На прогрев даётся 8-10 минут.

2. Для обжатия установки создаётся предварительное начальное нагружение силой $F = 500$ кг.

Записываются последовательно начальные показания прибора по каждому из тензодатчиков, снятые по методу нулевого отсчёта, а также показание индикатора.

3. Нагрузка увеличивается до конечного значения заданными ступенями. На каждой ступени снимаются и записываются в журнал наблюдений соответствующие показания танзодатчиков. Затем балка разгружается.

Обработка результатов.

1. Посчитывают приращения показаний по каждому тензодатчику на одну ступень нагружения, вычисляют напряжения в каждой точке и на основании полученных для точек 5, 6, 7, 8, 9 значений σ строят экспериментальную эпюру нормальных напряжений.

2. Производится сопоставление результатов опыта с теоретическими расчётами. Напряжение в i -той точке подсчитывается по формуле:

$$\sigma_i = \frac{M}{I} y_i,$$

где y_i - расстояние соответствующей точки поперечного сечения от нейтральной оси.

По вычисленным значениям строится теоретическая эпюра нормальных напряжений (симметричная относительно нейтральной оси).

II. Определение главных напряжений.

Главные напряжения определяются на той же самой балке с помощью тензодатчиков №1 и №2, а также №3 и №4, наклеенных на уровне нейтрального слоя под углом 45° к оси, т.е. по направлению главных площадок.

На главных площадках возникают напряжения σ_{\max} и σ_{\min} .

Теоретические значения главных напряжений вычисляются по формулам:

$$\sigma_{\min}^{\max} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau^2},$$

здесь $\sigma_x = \sigma_y = 0$ (на уровне нейтрального, или нулевого, слоя), следовательно $\sigma_{\min}^{\max} = \sigma = \pm\tau$.

Согласно формуле Журавского:

$$\tau = \frac{QS}{Jb},$$

где Q - поперечная сила, действующая в рассматриваемом сечении;

S - статический момент полусечения относительно нейтральной оси;

J - момент инерции сечения относительно нейтральной оси;

b - толщина стенки двутавра.

Подставив в формулу значения Q , S , J_z и b , найдем теоретические значения τ , a , следовательно, и напряжения σ_{\min}^{\max} .

Так как элемент стенки балки находится в условиях плоского напряжённого состояния, то главные напряжения подсчитываются по формулам:

$$\sigma_{1\max} = \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_1 - \mu\varepsilon_3),$$

$$\sigma_{3\max} = \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_3 - \mu\varepsilon_1),$$

где ε_1 , ε_3 - относительные деформации, по главным направлениям определяемые по общей формуле: $\varepsilon = \Delta n \zeta$.

Порядок выполнения работы.

1. Снимаются начальные показания прибора по тензодатчикам №№ 1, 2, 3, 4.

2. Фиксируются показания этих же тензодатчиков при конечном значении нагрузки F .

3. Вычисляются значения главных напряжений σ_1 и σ_3 по показаниям тензодатчиков $\sigma = \Delta n \zeta E$ и сравниваются с соответствующими теоретическими значениями, вычисленными по формуле Журавского, приведённой выше.

Необходимо обратить внимание, что в зоне чистого изгиба $\tau = 0$, а потому показания тензодатчиков №№ 3, 4 после нагружения практически не отличаются от начальных ($\Delta n=0$) и главные напряжения на площадках под углом 45° к оси равны нулю.

III. Определение деформаций балки при изгибе

Испытание производится на той же самой установке.

Порядок выполнения работы. Обработка результатов

1. Записывают показания индикатора при начальном значении F .

2. Записывают показание индикатора при конечном значении F .

По разнице показаний определяют величину стрелы прогиба.

3. Сравнивают величину прогиба, полученную опытным путём, с величиной, рассчитанной, например, по методу Мора:

$$EJy_{\max} = EJy_{x=\frac{l}{2}} = -\frac{23}{1296} \cdot \frac{Fl^3}{EI} \approx -\frac{1}{72} \frac{Fl^3}{EI}.$$

Примечание: замер показаний тензодатчиков №№ 1-9 и индикатора ведётся одновременно - при начальной нагрузке и при конечном её значении. Данные заносятся в соответствующую таблицу журнала лабораторных работ.

Работа № 7. Испытание двухпролётной неразрезной балки

Цель работы: экспериментальная проверка результатов аналитического расчёта двухпролётной неразрезной балки с консолями.

Характеристика установки.

Испытание производится на специальной демонстрационной установке, схема которой дана на рис. 31а.

Стальная двухпролётная неразрезная балка с равными консолями подвергается действию сосредоточенных сил F . Наличие "лишней" связи делает эту балку статически неопределимой. За "лишнюю" неизвестную принимаем реакцию средней опоры V_2 , а поэтому, отбросив опору 2, должны заменить её действие силой (Рис 31б). Под нагрузкой силами F сечение 2 балки перемещается вверх; приложение же силы V_2 вызывает опускание сечения 2.

Величина силы V_2 должна быть подобрана так, чтобы перемещение сечения 2 под действием сил F и V_2 равнялось нулю.

Нагружение балки осуществляется через специальные подвески. Для фиксации положения сечения 2 используется индикатор часового типа.

Проведение опыта.

1. Замеряют размеры балки.
2. Устанавливают индикатор над средней опорой;
3. Удаляют среднюю опору и фиксируют исходное показание индикатора, которое заносят в лабораторный журнал.

4. Загружают концы консолей балки равными грузами F и записывают новое показание индикатора.

5. Постепенно загружая сечение 2, подбирают величину $V_2 = X_1$ так, чтобы получить исходное показание индикатора.

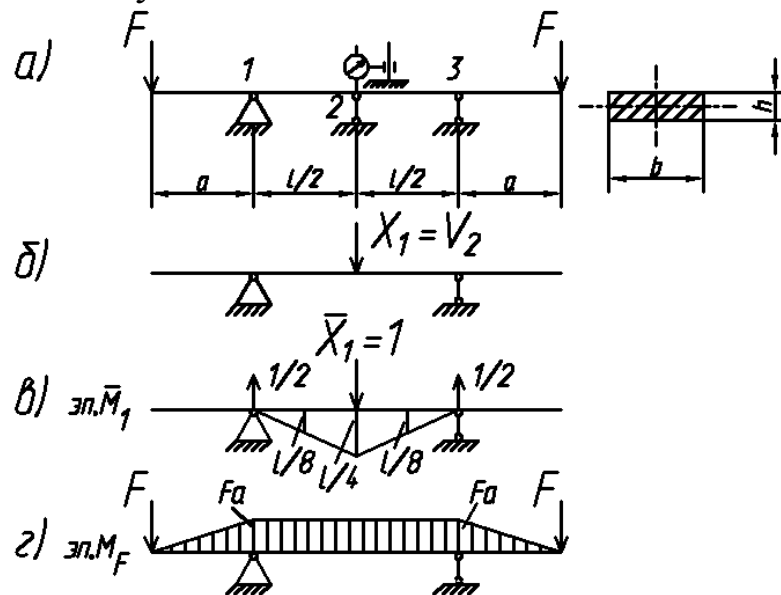


Рис. 31. Схема установки для испытания неразрезной балки, эквивалентная система метода сил для балки, единичная и грузовая эпюры

Обработка результатов опыта.

Посчитывают теоретическое значение реакции $V_2 = X_1$ с помощью, например, метода сил.

Для получения эквивалентной системы отбрасываем опору 2, заменяем её действие силой $X_1 = V_2$ (рис. 31б). Записываем каноническое уравнение метода сил:

$$u_{11}X_1 + u_{1F} = 0.$$

Для определения коэффициента u_{11} строим единичную эпюру изгибающих моментов \bar{M}_1 от силы $\bar{X}_1 = 1$ (рис. 31в) и умножаем её на ту же эпюру \bar{M}_1 .

$$u_{11} = \frac{1}{EI} \cdot 2 \cdot \frac{l/2}{6} \left(4 \cdot \frac{l}{8} \cdot \frac{l}{8} + \frac{l}{4} \cdot \frac{l}{4} \right) = \frac{l^3}{48EI}.$$

Значение u_{1F} определяется перемножением эпюр \bar{M}_1 и M_F (рис. 31в, г).

$$u_{1F} = \frac{1}{EI} \cdot 2 \cdot \frac{l/2}{6} \left(-4 \cdot \frac{l}{8} \cdot Fa + \frac{l}{4} \cdot Fa \right) = -\frac{3Fal^2}{24EI}.$$

Подставив это значение в каноническое уравнение, находим величину средней реакции $V_2 = X_1 = \frac{6Fa}{l}$.

Сравнивают теоретическое и опытное значение реакции V_2 .

Работа № 8. Определение положения центра изгиба для балки незамкнутого тонкостенного профиля

Цель работы: показать явление скручивания швеллера при изгибе, определить положение центра изгиба, сравнить результаты опыта с результатами расчёта.

В теории изгиба показано, что если сечение стержня несимметрично относительно плоскости действия внешних сил, лежащих в главной плоскости инерции, то под действием касательных напряжений, возникающих в поперечных сечениях, изгиб стержня будет сопровождаться скручиванием. Возникающие при этом добавочные касательные напряжения особенно значительны в тонкостенных балках незамкнутого профиля. Чтобы избежать кручение стержня при поперечном изгибе, необходимо так прикладывать к нему внешние силы, чтобы они лежали в плоскости, параллельной главной плоскости инерции и проходили через центр изгиба сечения. Центр изгиба - это точка, через которую проходит равнодействующая всех касательных усилий, действующих в поперечном сечении балки.

Описание установки

Работа выполняется на универсальной демонстрационной установке — УДУ, состоящей из консольной балки 1, жёстко заземленной на одном конце и нагруженной силой на другом (рис.35). Сечение балки - швеллер.

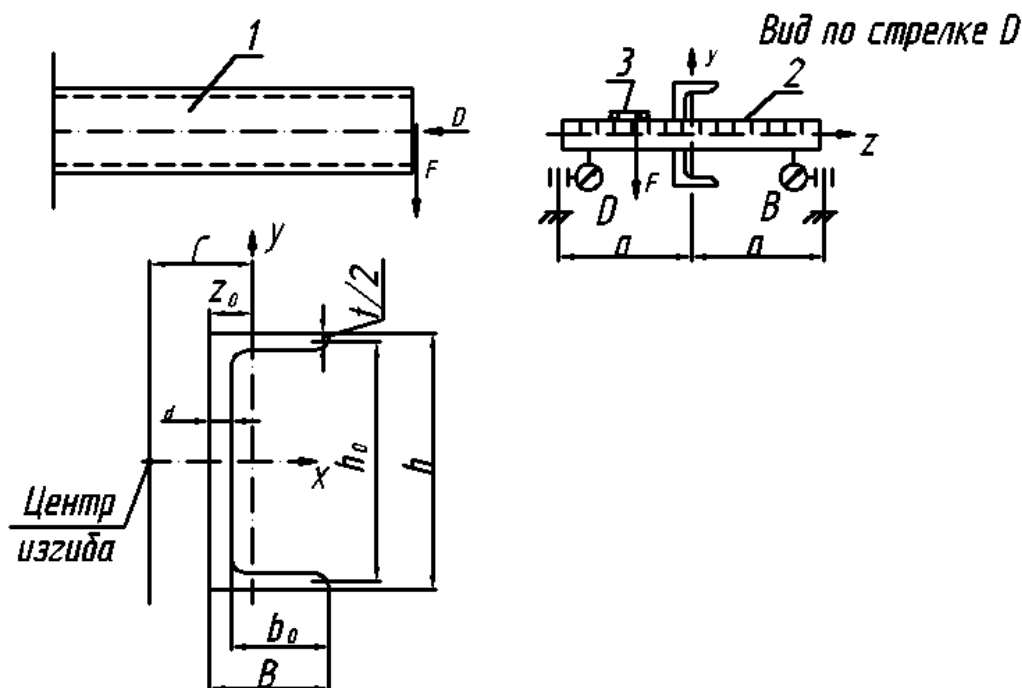


Рис. 32. Схема универсальной демонстрационной установки (УДУ) при определении центра изгиба.

На свободном конце балки 1 имеется планка 2, несущая винт с ползуном 3, к которому приложена сила F . При вращении винта ползун 3 перемещается в горизонтальном направлении, что даёт возможность установить точку приложения силы F на необходимом расстоянии от центра тяжести сечения. Перемещения концов планки фиксируются индикаторами D и B . Если приращения показаний этих приборов одинаковы, закручивание швеллера не происходит.

Проведение опыта.

1. Записывают в лабораторный журнал № швеллера, а также геометрические характеристики его сечения h , b , d , z_0 , t , J_x (рис.32), взятые из таблицы сортамента.

2. Устанавливают ползун в такое положение, чтобы линия действия нагрузки проходила через центр тяжести сечения балки. Нагружают балку небольшим предварительным усилием F_0 , необходимым для устранения люфтов в установке. Записывают показания индикаторов.

3. Нагружают балку усилием F и вновь записывают показания индикаторов. Приращения показаний при этом будут разными, что указывает на наличие скручивания балки.

Перемещают ползун с нагрузкой F влево на такое расстояние, чтобы приращения показаний были одинаковыми. Замеряют по планке расстояние C .

Обработка результатов опыта.

Вычисляют положение центра изгиба швеллера по формуле:

$$C = \frac{h_0^2 b_0^2 t}{4I} + z_0 - \frac{d}{2},$$

где h_0 - высота сечения швеллера за вычетом средней толщины его полки $h_0 = h - t$,

b_0 - ширина полки швеллера за вычетом толщины его стенки $b_0 = b - d$.

Сравнивают экспериментальное и теоретическое значения C .

Работа № 9. Испытание консольной балки на косо́й изгиб

Цель работы: определить перемещение при косо́м изгибе, построить плоскость изгиба и определить положение нейтральной линии.

Описание установки.

Работа выполняется на универсальной демонстрационной установке - УДУ. Установка состоит из консольной балки 1 с поперечным сечением в виде равнобокого уголка (рис 33). Балка 1 приварена к конусу 2, вставленному внутрь стакана 3, имеющего коническую поверхность. Стакан 3 приварен к станине 4. Жёсткое защемление балки создаётся за счёт подтягивания гайки 5, прижимающей одну коническую поверхность к другой.

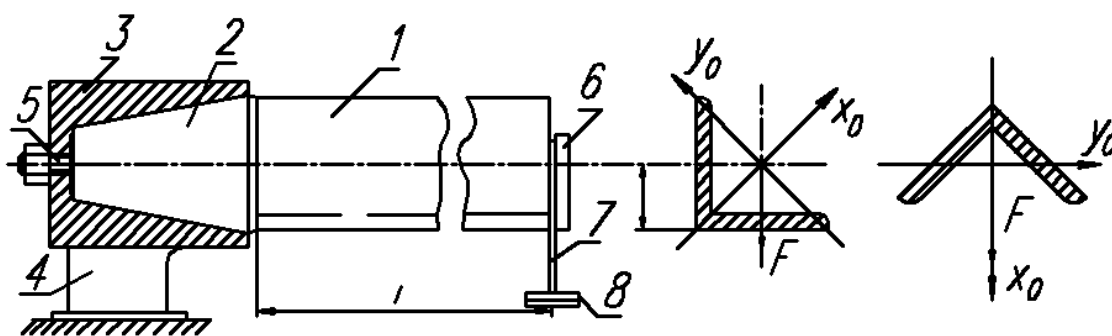


Рис. 33. Схема универсальной демонстрационной установки (УДУ) при испытании на косо́й изгиб.

В центре тяжести свободного концев́ого сечения укреплён штырь 6, к которому крепится подвеска 7 с грузами F (8). Наличие у подвески горизонтальной (Г) и вертикальной (В) баз (рис.34) обеспечивает замер горизонтальных и вертикальных перемещений конца балки при любом положении уголка. Для измерения горизонтальной и вертикальной составляющих прогиба свободного конца балки установлены два индикатора, измерительные стержни которых соприкасаются с базами подвески. Чтобы изменить угол наклона силовой плоскости по отношению к главным плоскостям инерции нужно отвернуть гайку 5 (рис. 33) и повернуть балку вокруг её продольной оси на заданный угол.

Проведение опыта.

1. Вносят в лабораторный журнал необходимые характеристики установки.

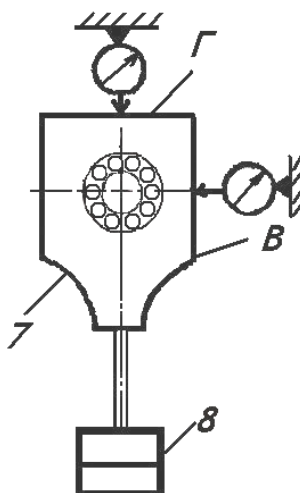


Рис. 34. Схема подвески (Г) с грузом (8).

2. Устанавливают балку в положение 1 путём поворота её вокруг продольной оси. Нагружают установку предварительным усилием F_0 для устранения люфтов в приборах и обжима установки. Записывают показания индикаторов.

3. Увеличивают нагрузку равными ступенями F так, чтобы напряжения в опасной точке сечения балки не превосходили 100 - 120 МН/м². При таких напряжениях в балке не появляются остаточные деформации. После каждой ступени нагружения в лабораторный журнал вносят показания индикаторов. Разгружают балку.

4. Поворачивают балку вокруг её продольной оси в положение 2; нагружают балку так же, как и для описанного выше испытания.

Обработка результатов опыта.

Вычисляют приращение показаний индикатора и определяют их среднее значение на ступень нагрузки и угр, и верт. Определяют величину полного прогиба свободного конца балки по экспериментально полученным составляющим:

$$u_{\text{экс}} = \sqrt{u_{\text{гор}}^2 + u_{\text{верт}}^2}.$$

Следует обратить внимание, что при загрузке балки во втором положении уголка должно отсутствовать горизонтальное перемещение. Определяют теоретическое значение прогибов u_{y_0} , u_{x_0} свободного конца балки в направлениях главных осей инерции сечения по формулам:

для первого положения уголка

$$u_{y_0} = \frac{\Delta F_{y_0} l^3}{3EI_{x_0}} = \frac{\Delta F l^3}{3EI_{x_0}} \sin \alpha,$$

$$u_{x_0} = \frac{\Delta F_{x_0} l^3}{3EI_{x_0}} = \frac{\Delta F l^3}{3EI_{x_0}} \cos \alpha$$

для второго положения уголка $u_{x_0} = \frac{\Delta F l^3}{3EI_{y_0}}.$

По результатам расчётов подсчитывают полный прогиб свободного конца балки для первого положения уголка:

$$u = \sqrt{u_{y_0}^2 + u_{x_0}^2}.$$

Теоретические значения прогибов сравнивают с экспериментальными.

На чертеже сечения, приведённом в лабораторном журнале, наносят его центр тяжести; откладывают от центра тяжести сечения в произвольном масштабе вертикальную и горизонтальную составляющие прогиба, полученные экспериментально, и находят графически полный прогиб балки (рис. 35).

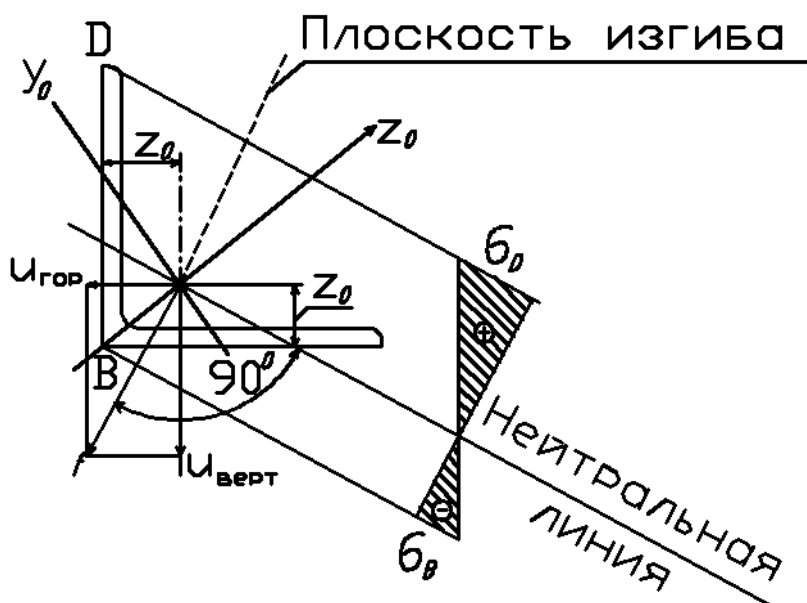


Рис. 35. Положение нейтральной оси и плоскости изгиба при косом изгибе уголка.

Учитывая, что и при косом изгибе вектор полного прогиба перпендикулярен нейтральной линии, проходящей через центр тяжести сечения, строят нейтральную линию. Перпендикулярно нейтральной линии проводят прямую, относительно которой строится эпюра нормальных напряжений в сечениях балки. Эпюру σ ограничивают касательными к контуру сечения, параллельными нейтральной линии.

Работа № 10. Испытание стального образца на внецентренное сжатие

Цель работы:

1. Установить закон распределения и величины нормальных напряжений в поперечном сечении призматического стального образца при трёх различных положениях продольной сжимающей силы.

2. Определить положение нейтральной линии для каждого из этих случаев.

3. Сравнить полученные опытные данные с теоретическими.

Описание образца.

Испытанию подвергается стальной образец 1 прямоугольного поперечного сечения с размерами h и b (рис.36).

Верхняя торцевая грань образца имеет несколько сферических выемок, расположенных на оси Y , в одной из которых устанавливается сферическая шайба 2 из твёрдой закалённой стали. Шайба служит для передачи усилия с подушки 3 прессы на образец.

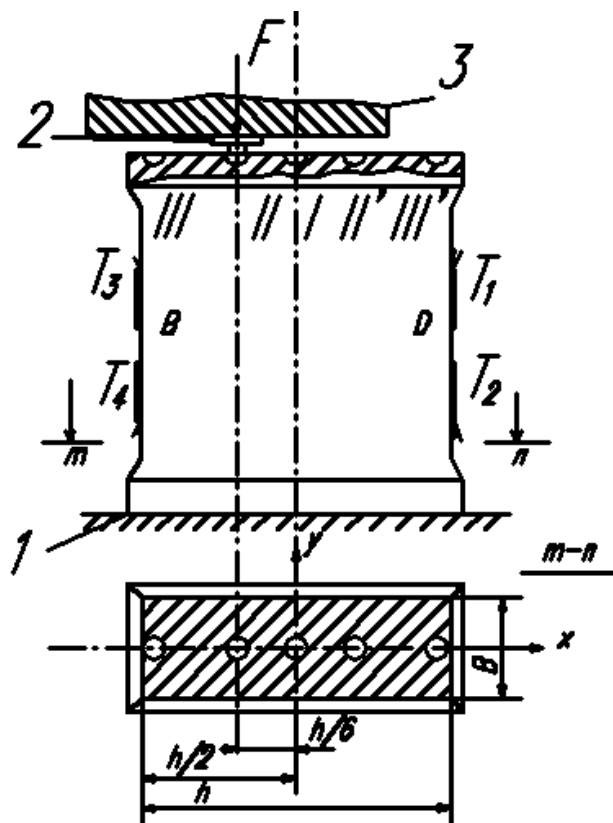


Рис. 36. Схема испытания образца на внецентренное сжатие.

При установке шайбы в 1 положение усилие F проходит через центр тяжести поперечного сечения образца.

Каждая из выемок II и II' находится на расстоянии $h/6$ от центра тяжести сечения. Поэтому при установке шайбы в одно из этих положений усилие F проходит через одну из вершин ядра сечения.

Каждая из выемок III и III' расположена на расстоянии $h/2$ от центра тяжести сечения образца.

На боковую грань D наклеены два проволочных тензодатчика сопротивления T_1, T_2 , на грань В наклеены датчики T_3, T_4 . На образец наклеен также конденсационный тензодатчик T_k . Рабочие тензодатчики и компенсационный подсоединяются к электронному измерителю деформаций ИД-61М.

Подготовка опыта.

Внешним осмотром проверяется исправность установки. Измеритель деформаций включается в сеть, даётся время на прогрев 5 - 10 минут, затем проверяется балансировка каждого тензодатчика.

Проведение опыта.

1. Шайбу 2 устанавливают в положение 1. Включая последовательно каждый из 4-х тензодатчиков, производят балансировку моста по каждому рабочему тензодатчику и записывают показания прибора в лабораторный журнал. Плавно нагружают образец с таким расчётом, чтобы наибольшее нормальное напряжение от нагрузки, равной $4F$, не превосходило 120 – 140 МПа. Снова производят балансировку моста по каждому тензодатчику и записывают показания измерителя деформаций по каждому тензодатчику. Разгружают образец.

2. Устанавливают шайбу 2 в положение II (или II'). Снимают отсчёты по каждому датчику аналогично вышеизложенному, загружают образец до того же предела, что в пункте I. Снимают показания прибора. Разгружают образец.

3. Устанавливают шайбу в положение III. Снимают показания приборов по каждому тензодатчику (п.п. 1 и 2) и записывают показания прибора.

Обработка результатов опыта.

В лабораторный журнал записывают: размеры сечения h и b образца, вычисленные по этим размерам площадь поперечного сечения образца, момент инерции J_y и момент сопротивления сечения относительно оси y ; модуль упругости материала образца; цену деления ζ электронного измерителя деформаций, начальные и конечные показания по каждому тензодатчику, для каждого из трёх способов нагружения приращение показаний $\Delta n_1, \Delta n_2, \Delta n_3, \Delta n_4$. Вычисляют средние относительные деформации на гранях D и B по формулам:

$$\Delta \varepsilon_D = \frac{\Delta n_1 + \Delta n_2}{2} \cdot \zeta, \quad \Delta \varepsilon_B = \frac{\Delta n_3 + \Delta n_4}{2} \cdot \zeta.$$

Вычисляют нормальные напряжения в точках D и B по формуле закона Гука:

$$\Delta \sigma_D = \Delta \varepsilon_D E, \quad \Delta \sigma_B = \Delta \varepsilon_B E.$$

По найденным экспериментальным значениям напряжений в точках D и B образца строят на миллиметровой сетке лабораторного журнала эпюры нормальных напряжений в сечении образца; определяют положение нейтральной линии для каждого случая нагружения. Затем вычисляют теоретические значения нормальных напряжений $\Delta \sigma_D$ и $\Delta \sigma_B$ в точках D и B для каждого варианта нагружения по формулам:

$$\Delta \sigma_D = \frac{\Delta F}{A} + \frac{\Delta M_y}{W_y}; \quad \Delta \sigma_B = \frac{\Delta F}{A} - \frac{\Delta M_y}{W_y};$$

где $\Delta M_y = \Delta F e$ - изгибающий момент относительно главной центральной оси y сечения;

e - эксцентриситет приложения нагрузки.

Производят сопоставление результатов, полученных из опыта, с теоретическими данными.

Работа №11. Испытание прямолинейного стержня на продольный изгиб в упругой стадии

Цель работы:

1. Провести наблюдение над явлением потери устойчивости прямолинейного стержня при его центральном сжатии.
2. Определить опытным путём величину критической силы и сравнить её с результатами расчёта по формуле Эйлера.

Описание установки.

Установка для испытания на продольный изгиб состоит из рамы 1 (рис. 37), в верхней части которой укреплен рычаг 2. На правом конце рычага имеется тяга 3 с тарелкой 7, на которую кладут грузы 8. Рама имеет две шарнирные опоры - верхнюю 4 и нижнюю 5, между которыми устанавливается образец. Соотношение плеч верхнего рычага таково, что осевое усилие, передающееся на испытываемый стержень, в 10 раз превышает величину груза F . Собственный вес тяги уравнивается противовесом 6.

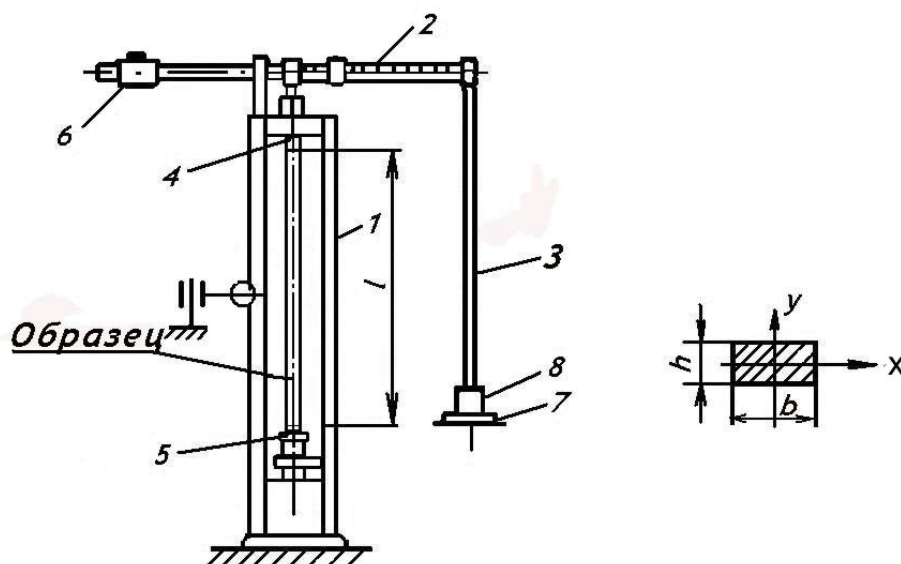


Рис. 37. Схема установки: 1 - рама из уголков; 2 - рычаг; 3 - подвеска; 4 - верхний подвижный упор; 5 - нижний шарнир; 6 - противовес; 7 - тарелка подвески; 8 - груз.

Подготовка опыта

Проверяют прямолинейность оси испытываемого стержня. Измеряют его размеры: h , b и l . Устанавливают стержень в испытательную установку при этом следует обеспечить

тщательное центрирование стержня, которое достигается наличием сферических выемок в торцевых поперечных сечениях образца, расположенных строго на продольной оси последнего. Шарики, через которые передается усилие, должны располагаться в сферических выемках опор и образца. Отмечают показание индикатора, которое принимают за исходное.

Проведение опыта.

Испытуемый стержень остаётся прямолинейным (рис. 38а) до тех пор, пока продольная сжимающая сила невелика. Прогиб стержня практически отсутствует. Когда же сила F достигает так называемого критического значения, прямолинейная форма равновесия стержня становится неустойчивой и ось стержня искривляется; при этом достаточно малейшего поперечного толчка, чтобы прогибы стержня стали весьма большими.

Эта идеализированная зависимость между сжимающей силой F и прогибом стержня у посредине его длины; представлена графически на рис. 38б.

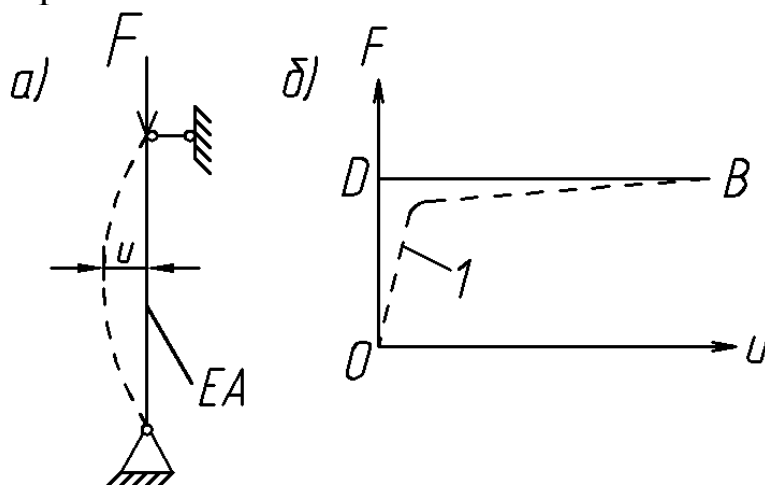


Рис. 38. Расчетная схема образца при испытании на устойчивость и вид диаграммы сжатия образца.

Вертикальная прямая OD соответствует центральному сжатию стержня, слегка наклонная прямая DB - его критическому состоянию.

Практически любой стержень имеет некоторую, хотя бы небольшую, начальную кривизну, а сжимающая сила F прикладывается с некоторым эксцентриситетом. Поэтому уже вначале нагружения стержень слегка искривляется, и график

зависимости между F и u отличается от идеализированной зависимости (штриховая линия 1 на рис. 38б). Чем больше начальная кривизна стержня и эксцентриситет приложения нагрузки, тем в большей мере график зависимости $F - u$ отличается от диаграммы ODB и тем труднее установить момент потери устойчивости.

При проведении опыта увеличивают продольную силу F ступенями. После каждой ступени нагружения записывают в журнал показания индикатора и следят за поведением стержня. По мере увеличения деформации стержня последующие ступени нагрузки уменьшают.

Фиксируют значение силы, при которой деформации стержня резко возрастают (значительному искривлению стержня будет мешать ограничитель). Эта сила условно принимается за критическую. Последовательно производят разгрузку - стержень возвращается в исходное положение.

Обработка результатов.

Производят замер размеров h , b и l испытуемого образца. В лабораторный журнал записывают эти размеры и вычисляют минимальный главный центральный момент инерции сечения:

$$I_{\min} = \frac{bh^3}{12},$$

минимальный радиус инерции сечения:

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}},$$

где A - площадь поперечного сечения стержня.

Заносят в журнал значение μ - коэффициента, учитывающего характер закрепления стержня в опорах.

Определяют гибкость λ стержня по формуле:

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{\min}}.$$

Устанавливают применимость формулы Эйлера для вычисления критической силы, если $\lambda \geq \lambda_{пред}$, то формула Эйлера применима.

Предельную гибкость определяют для данного материала по формуле:

$$\lambda_{пред} = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_{рч}}},$$

где $\sigma_{рч}$ - предел пропорциональности.

Вычисляют теоретическое значение критической силы по формуле Эйлера:

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{(\mu l)^2}.$$

Подсчитывают значение критического напряжения по формуле:

$$\sigma_{кр} = \frac{F_{кр}}{A}$$

Сравнивают $\sigma_{кр}$ с σ_y .

Сравнивают теоретическое значение критической силы с результатом, полученным из опыта.

Работа №12. Испытание прямолинейного стержня на продольный изгиб в пластической стадии

Цель работы:

1. Изучить поведение прямолинейных стержней при продольном изгибе в пластической стадии.

2. Определить опытным путём величину критической силы и сопоставить с результатом расчёта по формуле Ясинского.

Постановка задачи.

Рассмотрим зависимость критических напряжений $\sigma_{кр}$ от гибкости λ стержня для малоуглеродистой стали типа ст.3 (рис. 39).

Если гибкость стального стержня больше 100, то потеря устойчивости стержня происходит в упругой стадии, при этом критические напряжения меньше предела пропорциональности $\sigma_{рч}$.

При гибкостях, лежащих в интервале $40 \leq \lambda \leq 100$, стержень теряет устойчивость, деформируясь в упруго-пластической области; график очерчивается прямой Ясинского. При гибкостях менее 40 стержень настолько короткий, что практически разрушается при потере прочности, т.е. $\sigma_{кр} \approx \sigma_y$.

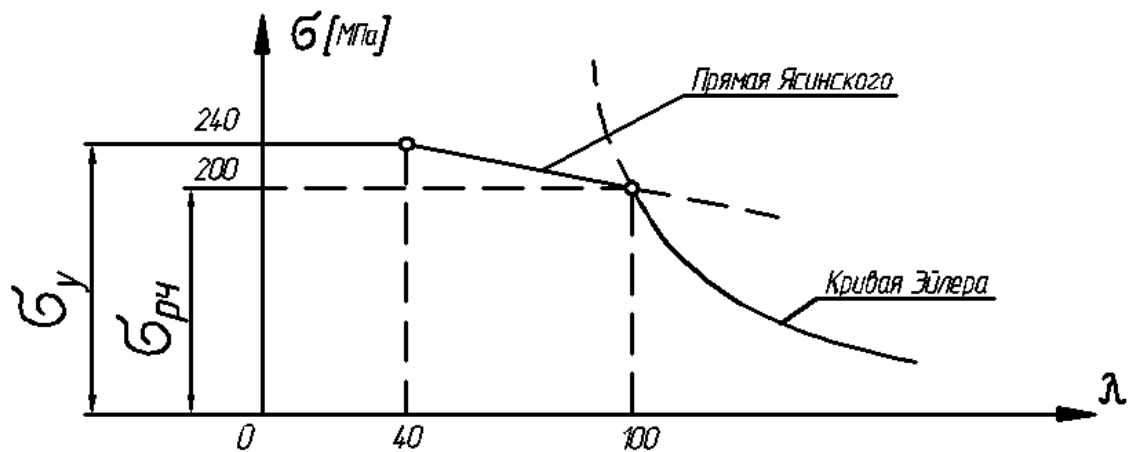


Рис. 39. График критических напряжений.

В данной работе испытанию подвергается стальной стержень круглого поперечного сечения шарнирно опёртый по концам (рис. 40). Зона пластической деформации возникает примерно посередине длины стержня.

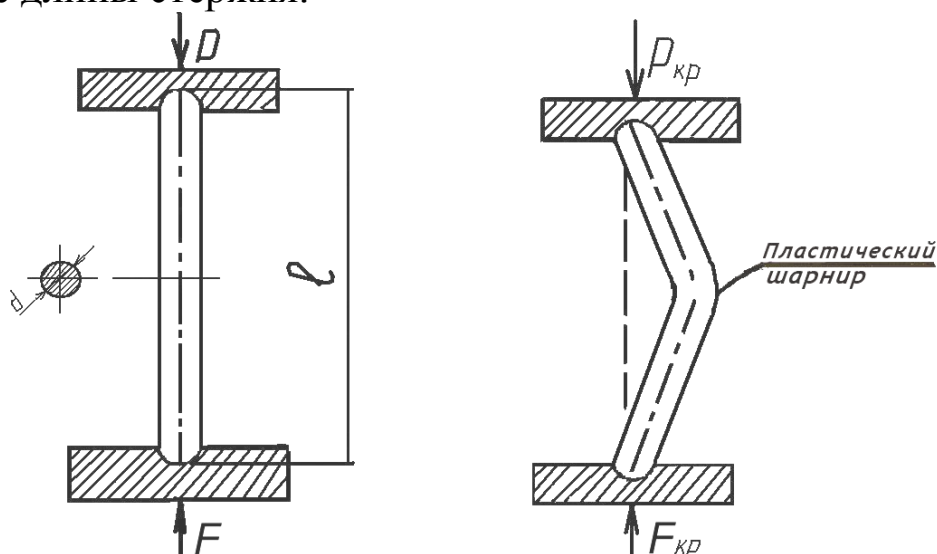


Рис 40. Схема испытания образца на устойчивость в пластической стадии.

Под действием критической нагрузки стержень будет искривляться так, что в середине его длины образуется перелом. В момент образования перелома нагрузка быстро падает, стержень теряет способность сопротивляться продольной нагрузке. Верхняя и нижняя части стержня будут поворачиваться относительно друг друга, но их продольные оси будут оставаться прямолинейными.

Область пластических деформаций в средней части стержня получила название пластического шарнира.

После снятия нагрузки стержень остаётся в искривлённом состоянии.

Проведение опыта.

Испытание проводится на универсальной испытательной машине УМ-5.

Образец устанавливают в специальные опоры со сферическими выемками. Включают испытательную машину на сжатие, наблюдают за поведением образца и изменением нагрузки по стрелке силоизмерителя. Фиксируют максимальное значение силы, которое и является критической. При падении нагрузки выключают машину, а затем полностью разгружают образец.

Обработка результатов опыта.

В лабораторный журнал заносят размеры стержня d и l . Вычисляют минимальный момент инерции сечения:

$$I_{\min} = \frac{\pi \cdot d^4}{64} [м^4],$$

минимальный радиус инерции:

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{J_{\min}}{A}} = \frac{d}{4} [м],$$

гибкость стержня:

$$\lambda = \frac{\mu \cdot l}{i_{\min}}.$$

Записывают в журнал опытное значение критической силы для стержня.

Эта величина сравнивается с теоретическим значением критической силы, вычисленной по формуле Ясинского:

$$F_{кр} = \sigma_{кр} \cdot A,$$

где $\sigma_{кр} = a - b\lambda$.

Здесь a и b - коэффициенты, зависящие от материала стержня; так для стали ст.3: $a=310$ МПа, $b=1,14$ МПа.

Работа №13. Ударное испытание образца на изгиб

Цель работы:

1. Изучить явления, происходящие при испытании образца на ударный изгиб.
2. Определить удельную ударную вязкость материала образца.

Описание установки и образца.

Ударные испытания материалов на изгиб проводятся на маятниковом копре МК-30А (рис. 41), в котором тяжёлый маятник 2 поднимается на некоторую высоту h_1 .

В копёр устанавливается испытуемый образец 1 так, чтобы при ударе в зоне его надреза возникли растягивающие напряжения. Испытанию подвергается стандартный образец с размерами $(55 \times 10 \times 10) \cdot 10^{-3}$ м с надрезом глубиной $2 \cdot 10^{-3}$ м и радиусом в глубине надреза $r = 1 \cdot 10^{-3}$ м.

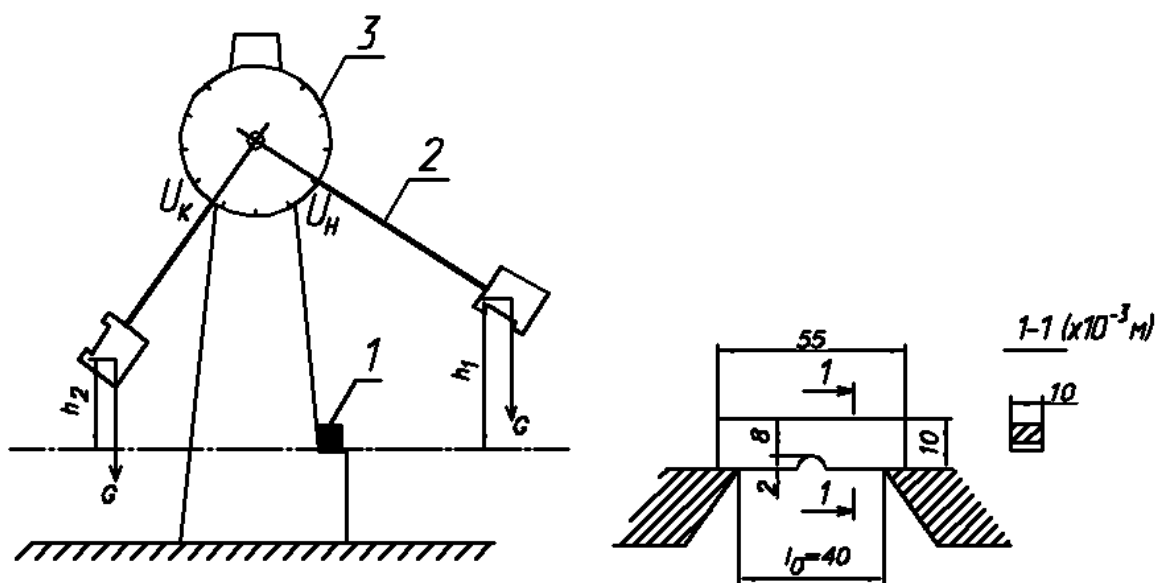


Рис. 41. Схема копра и чертеж стандартного образца.

Более подробное описание маятникового копра дано в часть I данной учебно-методической разработки.

Подготовка опыта

Измеряют размеры образца и проверяют его соответствие стандарту. Осматривают маятниковый копёр и убеждаются в его

исправности. Поднимают маятник на небольшую высоту и устанавливают образец на опоры. При этом надрез образца должен находиться в одной вертикальной плоскости с лезвием маятника.

Постановка задачи и проведение опыта.

Поведение металлов при нагружении и характер их разрушения зависит не только от их физико-механических свойств, но также и от других факторов: 1) характера напряжённого состояния в опасном сечении образца; 2) скорости приложения нагрузки; 3) температуры; 4) состояния поверхности образца; 5) его абсолютных размеров и др.

В зависимости от сочетания этих факторов разрушение может быть вязким или хрупким.

Вязким называют разрушение, происходящее в результате значительной пластической деформаций; хрупким – без заметной пластической деформации.

В данной работе требуется изучить поведение стального образца при ударе. Ударом называется действие нагрузки в течение очень малого промежутка времени (тысячные доли секунды и менее).

В этих условиях происходит хрупкое разрушение металлов. Основной механической характеристикой материала при этом является удельная ударная вязкость, характеризующая способность материала сопротивляться удару ("энергоемкость" материала). Ударной вязкостью W_k при изгибе называется работа (в кН·м), затрачиваемая на разрушение одним ударом надрезанного образца.

Удельной ударной вязкостью Q_k при изгибе называется частное от деления ударной вязкости W_k на площадь поперечного сечения образца в надрезе:

$$Q_k = \frac{W_k}{A_k}.$$

Размерность её выражается в кН·м/м.

Величина удельной ударной вязкости зависит от формы и величины образца и формы надреза.

При ударных испытаниях надрезанных образцов закон подобия не применим. Вследствие этого нельзя произвести теоретический пересчёт значений ударной вязкости, определённых

для одного типа образцов, на другой тип (для этого существуют эмпирические формулы).

После установки образца поднимают маятник на высоту h_1 , фиксируют по шкале 3 запас энергии маятника U_n . Освобождают маятник и производят разрушение образца, при этом маятник поднимается на высоту h_2 . Отмечают величину энергии U_k , которой обладает маятник после разрушения.

Обработка результатов испытания.

Записывают в лабораторный журнал размеры поперечного сечения a и b , длину l образца, а также характер его излома. Заполняют таблицу наблюдений, где фиксируют материал образца, площадь поперечного сечения u надреза, определяют работу, затраченную на излом (кН·м):

$$A_k = U_n - U_k,$$

вычисляют удельную ударную вязкость Q_k (кН·м/м).

Работа №14. Определение динамического коэффициента

Цель работы: проверить опытным путём динамический коэффициент при внезапном приложении нагрузки.

Постановка задачи

Динамический коэффициент при ударе есть отношение динамического прогиба (от удара грузом F) к статическому прогибу (от силы F , действующей статически и приложенной в том же самом сечении):

$$K_d = \frac{u_d}{u_{ст}}.$$

Теоретически динамический коэффициент определяется по формуле:

$$K_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{u_{ст}}},$$

где h – высота падения груза;

$u_{ст}$ – статический прогиб в сечении под грузом (от силы F , приложенной статически).

Случай, когда высота падения груза равна нулю, носит название внезапного действия (или мгновенного приложения) нагрузки.

При $h=0$ из формулы следует:

$$K_{\partial} = 1 + \sqrt{1+0} = 2.$$

Следовательно, при внезапном действии нагрузки деформация системы и напряжения в ней вдвое больше, чем при статическом действии той же нагрузки.

Описание установки и проведение опыта.

Опыт проводится на универсальной демонстрационной установке - УДУ. Испытанию подвергается консольная балка 1 прямоугольного сечения длиной l , высотой h и шириной b (рис.42).

В одном из сечений балки устанавливают индикатор 2 и записывают предварительные показания индикатора в таблицу наблюдений. К кронштейну 5 на нитке 4 подвешивается груз 3 весом F таким образом, чтобы он слегка касался поверхности балки, не вызывая деформации последней. Нитку перерезают ножницами (или пережигают), груз опускается. При этом фиксируют показания индикатора в момент наибольшего прогиба и записывают в таблицу наблюдений (в индикаторе должна быть снята пружина, возвращающая штифт в исходное положение).

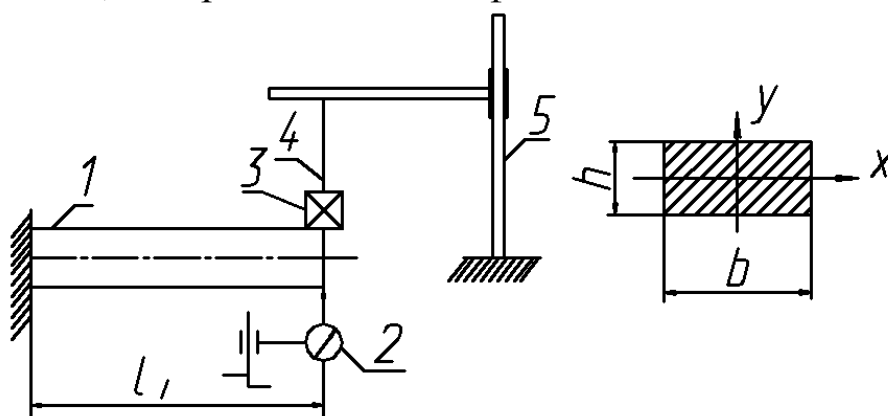


Рис. 42. Схема установки для определения динамического коэффициента.

Затем опыт повторяют, но нагрузку прикладывают статически, т.е. груз опускают на балку постепенно. Фиксируют показания индикатора до приложения и после приложения нагрузки и записывают в таблицу наблюдений.

Разность отсчётов по индикатору в первом случае есть динамический прогиб в сечении - u_d , во втором случае - статический прогиб - $u_{ст}$.

Определяют коэффициент динамичности по данным опыта:

$$K_{\delta}^0 = \frac{u_d}{u_{ст}}$$

и сравнивают с теоретическим его значением:

$$K_{\delta}^m = 2.$$

Работа №15. Ускоренное испытание на выносливость при изгибе

Опытное определение предела выносливости материала требует затраты большого времени (около недели непрерывной работы машины) и не может быть произведено в процессе учётных лабораторных занятий.

Цель работы: получить величину предела выносливости материала при симметричном цикле изменения напряжений по ускоренной методике со ступенчато увеличивающейся амплитудой напряжений.

Общие сведения. Ориентировочное значение предела выносливости гладкого стального образца можно определить, используя отношение σ_k / σ_{-1} (т.е. отношение конечного напряжения, при котором происходит разрушение образца, к пределу выносливости).

Это отношение приблизительно можно принять постоянным при определённой скорости увеличения амплитуды напряжения. Установлено, что при таком нагружении образец сначала упрочняется, а затем происходит его обычное усталостное разрушение подобно разрушению при нагружении с постоянной амплитудой напряжений, незначительно превышающей предел выносливости (см. схему нагружения рис. 43).

При скорости нагружения $\alpha = 2 \cdot 10^{-7}$ Н/м² цикл можно принять отношение $\sigma_k / \sigma_{-1} \approx 1,25$, тогда

$$(\sigma_k)_{пр} = 1,25\sigma_{-1}$$

где σ_{-1} – предел выносливости;

$(\sigma_k)_{пр}$ – приведённое конечное напряжение, равное

$$(\sigma_k)_{пр} = \sigma_k - \frac{1}{2} \Delta \sigma_i + \alpha \cdot n_k,$$

где σ_k – конечное напряжение, соответствующее разрушению образца при скорости увеличения амплитуды напряжений

$$\alpha = \frac{\Delta \sigma_i}{\Delta n_i} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Н / м}^2 \cdot \text{цикл};$$

$\Delta \sigma_i$ – приращение амплитуды напряжений;

Δn_i – продолжительность ступени нагружения (в циклах);

n_k – продолжительность действия нагрузки (в циклах) на уровне конечного напряжения

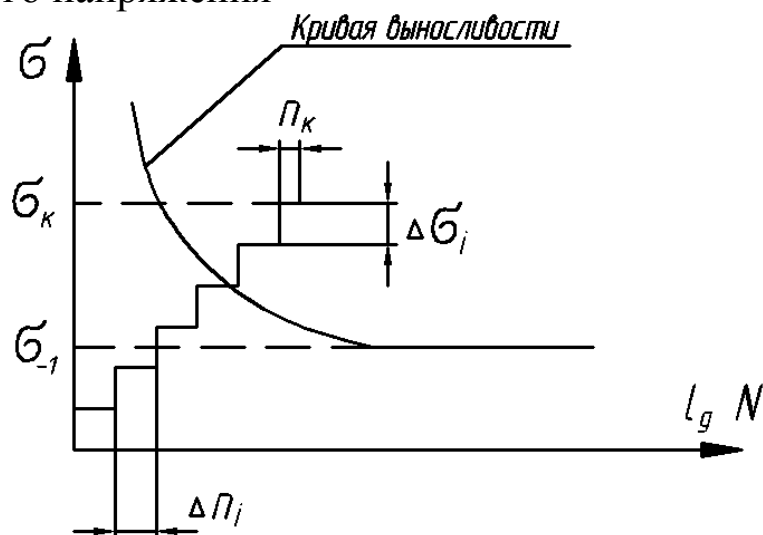


Рис.43. Схема нагружения образца.

Методика проведения испытания.

Образцы, предназначенные для испытания, - цилиндрической формы круглого поперечного сечения (рис. 44).

Испытание производится на специальной машине УКИ-10 (см. часть I). На машине можно одновременно проводить испытание двух образцов. Схема испытания консольных образцов показана на рис. 45.

Образец закрепляется в шпинделе установки, который вращается в подшипниках от электродвигателя. Нагрузка передаётся на образец от подвески с грузами.

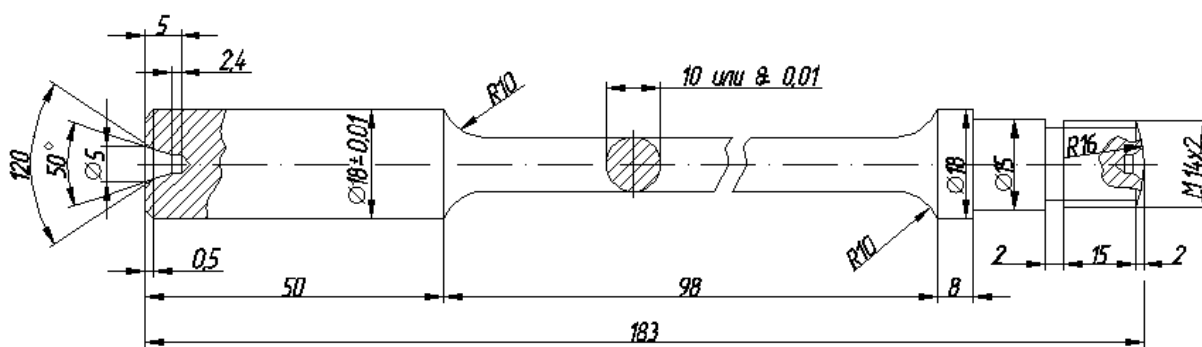


Рис. 44. Консольный образец для испытания на выносливость.

Число оборотов шпинделя, а следовательно, и образца фиксируется счётчиком. При вращении образца любая точка контура поперечного сечения испытывает действие нормальных напряжений, циклически изменяющихся во времени по закону:

$$\sigma = \pm \frac{M_{изг}}{J} \cdot R \cdot \sin wt$$

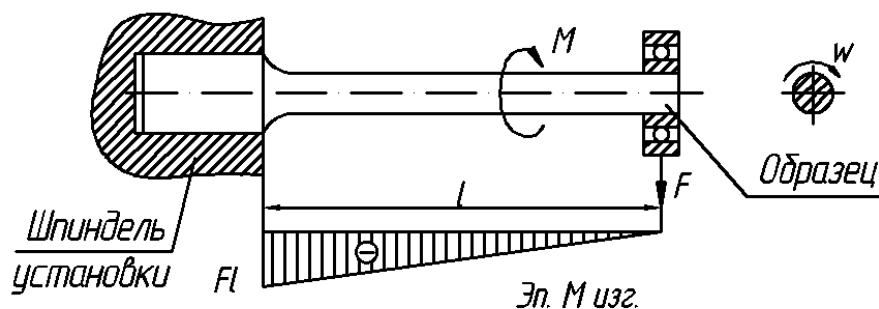


Рис. 45. Схема испытания консольного образца.

Нагружение образца производят ступенчато (например, по 5 кг на каждую ступень). Для обеспечения установленной скорости нагружения $\alpha = 2 \cdot 10^{-5}$ Н/м² цикл определяют Δn_i – необходимое число циклов (оборотов) работы испытываемого образца на каждой ступени нагружения:

$$\Delta n_i = \frac{\Delta \sigma_i}{\alpha} = \frac{\Delta M_n}{W_z \alpha} = \frac{\Delta F l}{W_z \alpha},$$

где ΔF – нагрузка каждой ступени;

$$W_z = \frac{\pi d_0^3}{32} - \text{момент сопротивления образца в опасном}$$

сечении.

Нагружение производится последовательно без остановки машины: после Δn_i циклов образца на данной ступени нагружения (фиксируется по счётчику) добавляется очередной груз ΔF . После разгрузки образца машина автоматически выключается.

Порядок проведения испытания и обработка результатов опыта

1. Замеряют рабочую длину образца l и диаметр d_0 в опасном сечении.

2. Задаются степенью нагружения ΔF .

3. Определяют количество циклов на ступень нагружения Δn_i .

4. Образец закрепляют в захватах машины, нагружают образец первой ступенью нагрузки, включают машину и следят по счётчику оборотов.

5. После Δn_i циклов (оборотов) производят последовательное ступенчатое нагружение образца вплоть до его разрушения. Фиксируется продолжительность действия нагрузки на уровне конечного напряжения, т.е. n_k на последней ступени.

6. Подсчитывают и заносят в лабораторный журнал действующее напряжение в образце на каждой ступени нагрузки

$$\sigma_i = \sum_1^n \frac{\Delta F l}{W_x}, \text{ а также } \sigma_k \text{ на последней ступени нагружения.}$$

Записывают в журнал приращение амплитуды напряжений по каждой ступени нагружения и продолжительность ступени нагружения Δn_i (в циклах), а также суммарное число циклов n_i на каждой ступени.

7. Подсчитывается приведённое конечное напряжение

$$(\sigma_k)_{np} = \sigma_k - \frac{1}{2} \Delta \sigma_i + \alpha n_k$$

и ориентировочное значение предела выносливости

$$\sigma_{-1} = \frac{(\sigma_k)_{np}}{1,25}$$

Полученное значение σ_{-1} сравнивается со справочным для заданной марки стали.

Содержание

Часть 1. Использование испытательных машин и измерительных приборов.....	3
Введение.....	3
I. Испытательные машины.....	3
1. Общие соображения по применению лабораторного оборудования	3
2. Машины для статических испытаний	4
2.1. Машина универсальная типа УММ-5 (УМ-5) с механическим приводом	8
2.2. Машина универсальная типа УММ-20 (МУП-50), Р-10 с гидравлическим приводом	10
2.3. Машина для испытания на кручение типа КМ-50-1.....	13
3. Машины для динамических испытаний.....	15
3.1. Маятниковый копёр типа МК-30А(МК-30)	15
3.2. Машина для испытания на сопротивление усталости типа УКИ – 10М (УКИ – 10).....	16
II. Измерительные приборы	17
1. Стрелочный индикатор.....	17
2. Рычажный тензометр.....	17
3. Проволочный тензометр сопротивления (тензодатчик)	20
Часть II. Выполнение лабораторных работ.....	26
Работа №1. Испытание на разрыв стального образца с записью диаграмм.....	26
Работа №2. Определение упругих постоянных материала.....	31
Работа №3. Испытание на сжатие пластичных, хрупких, изотропных и анизотропных материалов.....	33
Работа №4. Испытание на срез стального и деревянного образцов	38
Работа №5. Испытание стального образца на кручение	41
Работа №6. Испытание балки на поперечный изгиб.....	49
Работа № 7. Испытание двухпролётной неразрезной балки.....	53
Работа № 8. Определение положения центра изгиба для балки незамкнутого тонкостенного профиля	55
Работа № 9. Испытание консольной балки на кривой изгиб	57

Работа № 10. Испытание стального образца на внецентренное сжатие	61
Работа №11. Испытание прямолинейного стержня на продольный изгиб в упругой стадии.....	64
Работа №12. Испытание прямолинейного стержня на продольный изгиб в пластической стадии.....	67
Работа №13. Ударное испытание образца на изгиб.....	70
Работа №14. Определение динамического коэффициента	72
Работа №15. Ускоренное испытание на выносливость при изгибе	74