

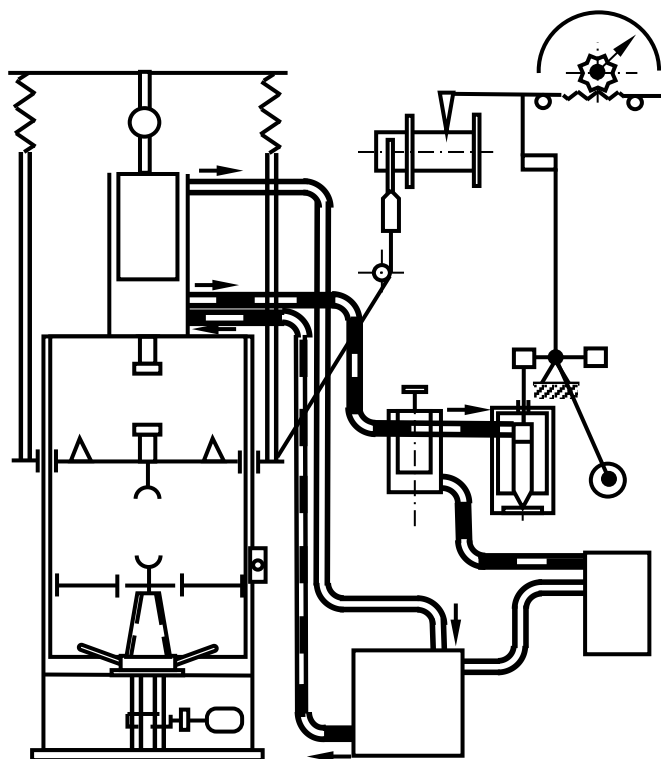
Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Вологодская государственная
молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина»

Инженерный факультет

Кафедра энергетических средств и технического сервиса

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Лабораторный практикум



Вологда–Молочное
2022

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Вологодская государственная молочнохозяйственная
академия имени Н.В. Верещагина»

Инженерный факультет

Кафедра энергетических средств и технического сервиса

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Лабораторный практикум

Вологда–Молочное
2022

УДК 37.1
ББК 74.202.5
С 646

Составители:

ст. преподаватель кафедры энергетических средств и технического сервиса
С.В. Гайдидей,
канд. экон. наук, доцент кафедры энергетических средств и технического
сервиса **Н.И. Кузнецова,**
ст. преподаватель кафедры энергетических средств и технического сервиса
И.И. Иванов

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент кафедры энергетических средств
и технического сервиса
А.Л. Бирюков,
канд. техн. наук, доцент кафедры технические системы в агробизнесе
В.Ю. Ивановская

С646 Сопротивление материалов: Лабораторный практикум / Сост. С.В. Гайдидей, Н.И. Кузнецова, И.И. Иванов. – Вологда – Молочное: ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА, 2022. – 62 с.

Лабораторный практикум разработан и составлен в соответствии с рабочей программой дисциплины «Сопротивление материалов» и соответствуют требованиям федерального государственного образовательного стандарта высшего образования для студентов очной формы обучения по направлению подготовки бакалавров:

35.03.06 – Агроинженерия,
15.03.02 – Технологические машины и оборудование,
27.03.01 – Стандартизация и метрология,
35.03.02 – Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств.

Печатается по решению редакционно-издательского совета ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА.

УДК 37.1
ББК 74.202.5

© Гайдидей С.В., Кузнецова Н.И., Иванов И.И., 2022
© ИЦ ВГМХА, 2022

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум разработан и составлен в соответствии с рабочей программой дисциплины «Сопротивление материалов» и соответствуют требованиям федерального государственного образовательного стандарта высшего образования для студентов очной формы обучения по направлению подготовки бакалавров:

35.03.06 – Агроинженерия,

15.03.02 – Технологические машины и оборудование,

27.03.01 – Стандартизация и метрология,

35.03.02 – Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств.

Описание лабораторных работ составлено применительно к оборудованию лаборатории сопротивления материалов ФГБОУ ВО Вологодской ГМХА имени Н.В. Верещагина.

Выполнение лабораторных работ по сопротивлению материалов имеет две цели.

Первая из них заключается в ознакомлении студентов с методами испытаний материалов, т.е. методами определения характерных свойств материалов: предела текучести, предела прочности, относительного удлинения при разрыве, модуля упругости, твердости, ударной вязкости, предела выносливости материала и т.д.

Вторая заключается в опытной проверке теоретических формул, излагаемых в курсе сопротивления материалов. К таким задачам относится определение деформаций и напряжений при деформировании различных моделей конструкций, например, определение деформаций и напряжений при косом изгибе, определение напряжений в телах сложной формы.

В описаниях лабораторных работ указаны цели и задачи, даны теоретические обоснования работ, характеристики оборудования и аппаратуры для опытов и методики их проведения, а также перечень контрольных вопросов для предварительной проработки теоретического материала.

В данном лабораторном практикуме студент может ознакомиться с перечнем предусмотренных программой лабораторных работ, кратким содержанием и направлением каждой работы, формой записи исходных и полученных в опытах данных, направлением дальнейшей обработки опытных данных, оформлением конечных результатов, их анализом и выводами. После выполнения работы каждый из студентов должен предоставить отчет с анализом полученных результатов.

Перед началом выполнения лабораторных работ каждый студент индивидуально должен ознакомиться с требованиями техники безопасности.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

1. Студенты для проведения лабораторных работ могут входить в помещение только с разрешения преподавателя или учебного мастера.

2. Студент может работать на машинах и установках только с разрешения преподавателя. Запрещается включать и выключать испытательные машины, переставлять лабораторные установки и проводить какие-либо операции на них без разрешения преподавателя. Запрещается оставлять без наблюдения работающую испытательную машину или установку.

3. При проведении лабораторных работ нельзя находиться в непосредственной близости от движущихся частей машины (противовесов с грузами, маятника копра и др.).

4. При работе на машинах и установках нельзя прикасаться к токоведущим частям, а также к электрощитам, электрорубильникам.

5. При проведении лабораторных работ № 2 и 3 необходимо принять меры предосторожности и находиться не ближе двух метров от машины в момент разрушения образца.

6. Запрещается переходить с одного рабочего места на другое без разрешения преподавателя, работать одному в лаборатории без преподавателя.

7. За 5 минут до окончания занятий в лаборатории студенты обязаны собрать все предметы, инструменты, пособия и т.п. и сдать их учебному мастеру. За потерю и порчу приборов, инструментов, пособий и т.п. студенты несут материальную ответственность.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ПРОДОЛЬНОЙ УПРУГОСТИ

Цель работы: Определение модуля продольной упругости материала испытуемого образца, экспериментальная проверка закона Гука при растяжении.

Оборудование и приборы

Для проверки закона Гука и определения модуля упругости материала испытуемого образца необходимо измерение упругих деформаций при растяжении его в пределах пропорциональности.

Испытанию подвергают так называемые нормальные образцы круглого или прямоугольного поперечного сечения. Для возможности сравнения опытов форма, размеры и условия нагружения образцов должны соответствовать стандарту (ГОСТ 1497 – 84 «Металлы»).

В работе используется стандартный образец прямоугольного поперечного сечения, как показано на рисунке 1.

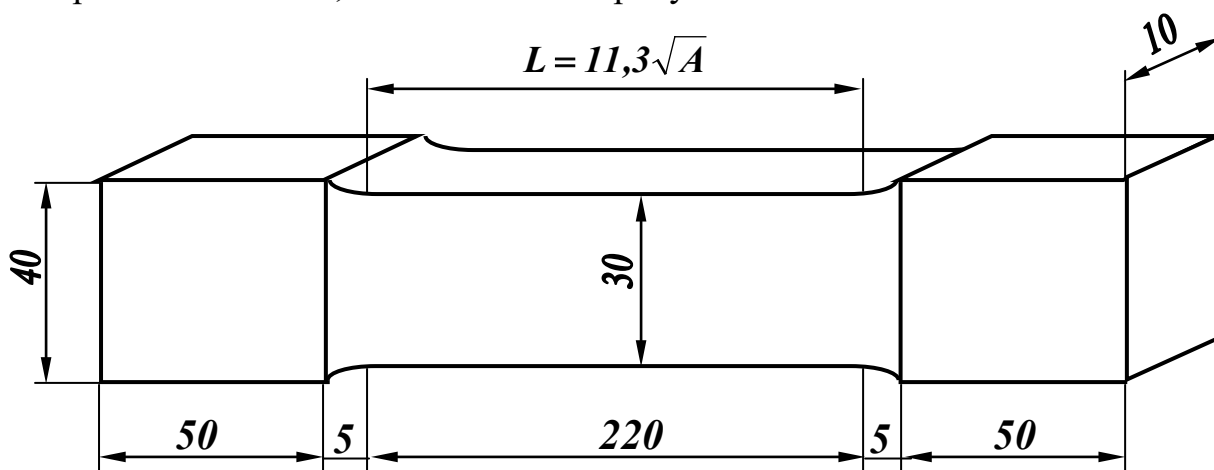


Рисунок 1 – Эскиз с указанием размеров.

Испытание проводится на универсальной разрывной машине УММ-20 с диапазоном нагрузок от 10 Н до 200 кН. Схема разрывной машины показана на рисунке 2.

Универсальная испытательная машина предназначена для испытания образцов и элементов конструкций статическими нагрузками при растяжении, сжатии, изгибе.

Машина – вертикальная, двухколонная с гидравлическим приводом перемещения подвижной траверсы и с механическим приводом нижнего захвата: кинематически представляет две сопряженные рамы, из которых одна неподвижная, а другая подвижная.

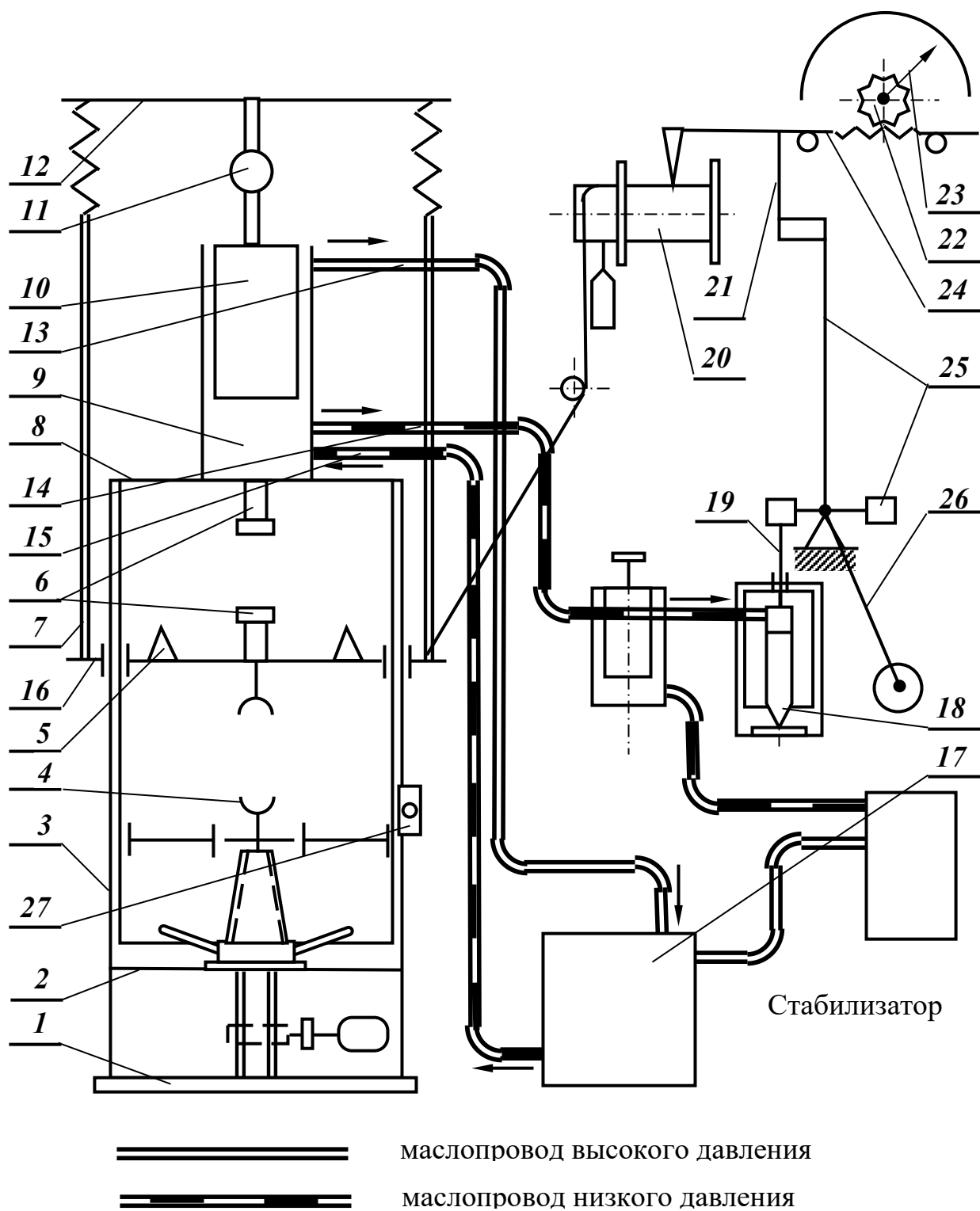


Рисунок 2 – Схема разрывной машины.

Неподвижная рама состоит из основания (1) и траверсы цилиндра (8), соединенных двумя стержнями (3). В траверсе (8) установлена гидравлическая пара – рабочий цилиндр (9) и поршень (10). На подушку поршня через шарик и конус (11) опирается подвижная рама.

Подвижная рама состоит из подвижной траверсы (16) и поперечины (12), соединенных двумя тягами (7). Рабочий ход подвижной траверсы осуществляется гидравлическим приводом.

Механический привод (2) нижнего захвата служит для установки захвата при настройке машины на испытание. Для управления механизмом привода нижнего захвата на правом стержне установлена кнопочная станция (27).

Подвижная траверса (16) является верхним захватом при испытаниях на растяжение; служит столом, на котором устанавливаются приспособления для испытания образцов на сжатие (6), на изгиб (5).

Силовозбудительным устройством машины является насосная установка (17) с централизованным управлением. Масло по маслопроводу (15) подается в рабочий цилиндр (9). Маслопровод (13) служит для слива утечек масла из верхней части цилиндра (9) в бачок насосной установки (17). Маслопровод (14) соединяет рабочий цилиндр (9) с цилиндром маятникового силоизмерителя (18). Маятниковый силоизмеритель представляет собой штангу с грузами (26), которая крепится на оси кронштейна. Один груз закреплен постоянно «А» и три сменные «Б», «В», «Г».

На той же оси закреплены тяги (25), связанные внизу поперечиной (19), на которую опирается плунжер цилиндра маятникового силоизмерителя.

Изменение давления в рабочем цилиндре машины передается по маслопроводу (14) плунжеру силоизмерителя, который, воспринимая давление в системе, перемещается, вызывая посредством тяг поворот штанги маятника в пределах 45° . Маятник связан с толкателем (21), ведущим рейку (24), находящуюся в зацеплении с шестерней (22), на которой укреплена рабочая стрелка (23). Рабочая стрелка ведет по шкале, протарированной в единицах силы, контрольную стрелку, а при возврате оставляет ее на максимально достигнутой величине силы.

Диаграммный аппарат (20) представляет собой легко съемный барабан, на который наклеивается лист бумаги. Над барабаном прямолинейно перемещается конец рейки (24) с пером. Если необходимо записать диаграмму, то на шкив барабана набрасывается петлей нитка с грузом, конец которой через ролики закрепляется на крючке подвижной траверсы (16).

При испытании образец деформируется, нитка под действием грузика заставляет барабан вращаться, при этом происходит запись

диаграммы в масштабе, дающем зависимость абсолютного удлинения от нагрузки.

Для измерения деформаций образца служат рычажные тензометры, схема которого представлена на рисунке 3. Тензометр прижимается к испытуемому телу при помощи струбцины, не показанной на схеме. Расстояние между нижним ребром призмы (1) и острием ножа (2) является базой прибора. Жесткая рамка прибора (6) вместе с призмой (1) составляет часть прибора, воспринимающая деформацию. Частью прибора, увеличивающей деформацию, является рычаг (3), жестко соединенный с призмой (1), и стрелка (5), шарнирно соединенная с рычагом (3) тягой (4). Стрелка (5) верхним концом (8) шарнирно прикреплена к рамке (6). По шкале (7) производятся отсчеты. При увеличении длины l (равной базе прибора S) на величину Δl произойдет поворот призмы (1) вокруг ее верхнего ребра на некоторый угол. Вместе с призмой на тот же угол повернется рычаг (3) и при помощи тяги (4) отклонит стрелку (5). В следствие поворота стрелки (5) нижний конец ее переместится по шкале (7) на величину ΔA с отсчета A' на отсчет A'' . Разность отсчетов по шкале ΔA пропорциональна удлинению Δl .

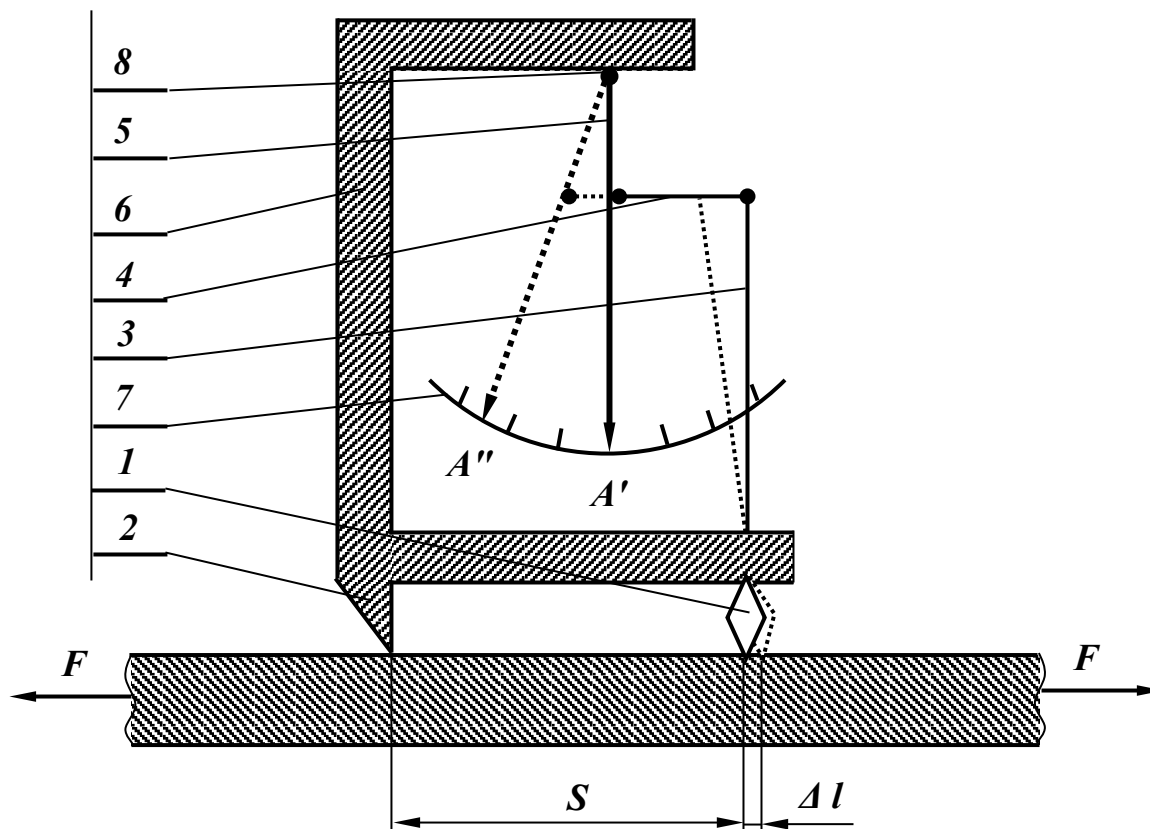


Рисунок 3 – Схема рычажного тензометра.

Коэффициент увеличения для данного прибора $k = 1000$, тогда

$$\Delta l = \frac{\Delta A}{k}.$$

Теоретические основы

Для большинства материалов при их растяжении между удлинением стержня Δl и величиной осевой нагрузки F принимается прямо пропорциональная зависимость (закон Гука):

$$\Delta l = \frac{F \cdot l}{E \cdot A} \quad (1)$$

где F – осевая нагрузка;

l – длина расчетной части стержня, для которой определяется удлинение;

A – площадь поперечного сечения стержня;

E – модуль упругости.

Зависимость (1) можно представить в ином виде, подставив в формулу вместо $\Delta l/l$ величину ε (относительное удлинение), а вместо F/A величину нормального напряжения σ , получаем иное выражение закона Гука:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E.$$

Измерив опытным путем величину нагрузки, действующей на образец, и удлинение Δl , которое получил образец, можно определить модуль упругости исследуемого материала:

$$E = \frac{F \cdot l}{\Delta l \cdot A}.$$

Физически модуль E характеризует сопротивляемость материала упругой деформации при растяжении.

Порядок выполнения работы

1. Снять размеры поперечного сечения образца, записать их и характеристики приборов в журнал наблюдений.
2. Образец установить в захватах машины. Груз на маятнике – А, шкала –А.
3. Тензометры установить непосредственно на образец.
4. Произвести постепенное нагружение образца ступенями постоянной величины ($\Delta F = 2500$), фиксируемыми силоизмерителем машины.
5. При каждой ступени нагрузки записывать показания тензометров.

6. Результаты опыта занести в журнал наблюдений.
7. Сделать необходимые расчеты и графические построения.

Сравнить экспериментальное значение модуля продольной упругости с табличным и ответить на следующие вопросы:

1. Чем объяснить возможное несоответствие табличного значения модуля упругости и определенного экспериментом?
2. Какая наблюдается закономерность при построении графика в системе осей $\sigma - \varepsilon$?
3. От каких факторов зависит модуль продольной упругости?
4. Как формулируется закон Гука?
5. Что называется абсолютной продольной деформацией? Какова ее размерность?
6. Что называется модулем продольной упругости и какова его размерность?
7. Как влияет величина модуля упругости на деформацию стержня?
8. Какими параметрами определяется жесткость при растяжении?
9. Что такое тензомер? Назовите основные его параметры.
10. Чем отличается перемещение от деформации?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ИЗУЧЕНИЕ ДИАГРАММЫ РАСТЯЖЕНИЯ СТАЛИ

Цель работы: Изучение диаграммы растяжения мягкой стали и определение ее механических характеристик, совокупность которых позволяет установить марку стали испытуемого образца.

Оборудование и приборы

В работе используется стандартный образец круглого поперечного сечения, как показано на рисунке 4.

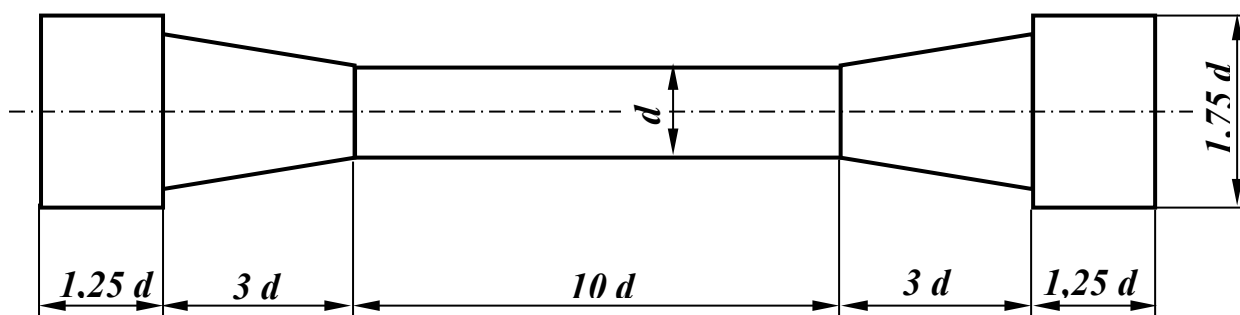


Рисунок 4 – Эскиз образца с указанием размеров.

Испытание проводится на универсальной разрывной машине УММ-20, снабженной силоизмерителем и аппаратом, записывающим диаграмму. Схема универсальной машины представлена на рисунке 2.

Теоретические основы

Диаграмма растяжения. В процессе испытания на барабане автоматически вычерчивается диаграмма растяжения, которая показывает зависимость между силой F , действующей на образец, и вызываемой ею деформацией Δl . Типичный вид диаграммы растяжения представлен на рисунке 5.

На диаграмме в самом начале испытаний появляется сначала горизонтальный, а затем криволинейный участок, соответствующий первоначальному обжатию головок образца в захватах и ликвидации зазоров в механизме. Вслед за начальным криволинейным участком диаграммы наблюдается быстрый рост нагрузки, диаграмма идет по наклонной прямой, что соответствует пропорциональности между нагрузкой и удлинением образца.

Чтобы исключить из рассмотрения криволинейный участок в начале диаграммы, следует продолжить прямолинейный участок диаграммы до оси абсцисс, в пересечении с которой получим точку O – начало

диаграммы. Прямолинейный участок диаграммы идет до точки A , а затем переходит в кривую $A - B$.

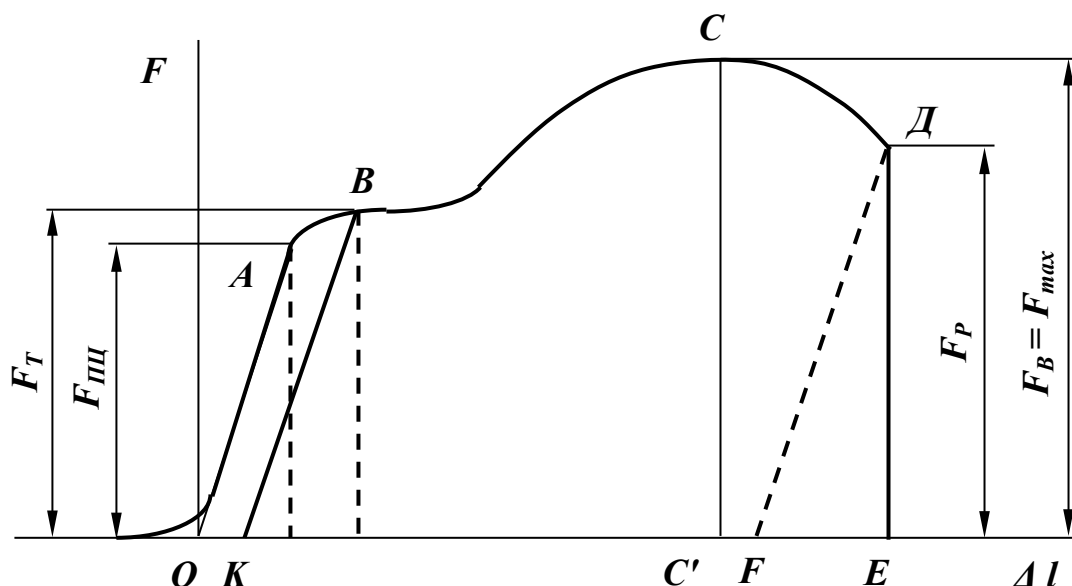


Рисунок 5 – Диаграмма растяжения.

Точке A диаграммы соответствует нагрузка предела пропорциональности $F_{ПЦ}$, поделив которую на первоначальную площадь сечения A_0 , найдем напряжение предела пропорциональности $\sigma_{ПЦ}$ испытуемого материала, т.е. напряжение, до которого справедлив закон Гука:

$$\sigma_{ПЦ} = \frac{F_{ПЦ}}{A_0}.$$

После перехода через предел пропорциональности, деформации начинают расти быстрее нагрузки, причем от точки B диаграммы, часто именуемой «критической точкой», деформации растут без дальнейшего повышения растягивающей силы – материал «течет». На диаграмме прочерчивается горизонтальная линия. Напряжение, при котором материал течет, т.е. деформируется без увеличения нагрузки, называется напряжением предела текучести, а горизонтальный участок диаграммы – площадкой текучести:

$$\sigma_T = \frac{F_T}{A_0},$$

где F_T – нагрузка предела текучести.

В случае, если явно выраженная площадка текучести отсутствует, т.е. материал не имеет физического предела текучести, рекомендуется определить величину условного предела текучести, как напряжения, соответствующего остаточному удлинению ($\sigma_T = \sigma_{0,2}$):

$$\Delta l_{ост} = 0,2\% \cdot l'$$

где l – длина образца.

Откладывая эту величину в соответствующем масштабе на оси абсцисс диаграммы растяжения, проводят наклонную линию BK , параллельную OA , до пересечения с кривой растяжения. Точка B пересечения определяет высоту ординаты, т.е. нагрузку $F_{0,2}$, соответствующую условному пределу текучести:

$$\sigma_{0,2} = \frac{F_{0,2}}{A_0}.$$

За площадкой текучести диаграмма идет вверх по кривой – нагрузка снова растет до своей максимальной величины F_{max} , после чего в наиболее ослабленном участке образца начинается образование местного сужения – так называемой шейки. Уменьшение сечения в области шейки вызывает падение нагрузки, и в момент, соответствующий точке D диаграммы, происходит разрыв образца при F_P . Наибольшее условное напряжение, выдерживаемое образцом, называется пределом прочности или временным сопротивлением – σ_B и представляет собой отношение наибольшей силы к первоначальной площади поперечного сечения:

$$\sigma_B = \frac{F_B}{A_0}.$$

До предела прочности весь образец удлиняется равномерно, а после образования шейки вся деформация образца сосредотачивается на малой длине ($l = 2d$) в области шейки, остальная часть образца практически не удлиняется.

Полная деформация образца Δl_n в момент разрыва равняется величине отрезка OE . Сюда входят как остаточная, так и упругая деформации стержня.

Чтобы получить на диаграмме только остаточное удлинение, следует провести наклонную прямую DF , параллельную OA , которая отсечет на оси абсцисс отрезок OF , соответствующий величине остаточной деформации, и отрезок EF , соответствующий упругой деформации образца при разрыве.

Выразив остаточное удлинение образца после разрыва в процентах от первоначальной длины, найдем одну из важных механических характеристик – величину, характеризующую пластичность материала (относительное удлинение):

$$\delta = \frac{\Delta l_{ост}}{l} \cdot 100\%.$$

Другой характеристикой пластичности является относительно сужение в месте разрыва:

$$\psi = \frac{d_0 - d}{d_0} \cdot 100\%.$$

Для оценки качества испытанной стали важно определить также количество работы, затраченной на разрыв образца. Величина полной работы, затраченной при растяжении образца до его разрыва, графически изображается площадью диаграммы растяжения **OABСДЕ** с учетом масштабов сил и удлинений. Работа, затраченная на пластическую деформацию, выражается площадью **OABСDF**, уменьшенной на величину треугольника **DEF**, соответствующего работе, израсходованной на упругую деформацию, исчезнувшую после разрыва.

Отношение L/V есть удельная работа, она характеризует способность материала поглощать энергию при разрыве, вязкость материала и сопротивляемость его динамическому воздействию нагрузки.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством машины и правилами техники безопасности.
2. Измерить диаметр образца d_0 и расчетную длину его l_0 штангенциркулем, записать в журнал.
3. Закрепить образец в захватах машины.
4. Постепенно нагружать образец вплоть до разрыва (Шкала Б).
5. Наблюдать за изменением вида образца и изображением диаграммы во время опыта.
6. Зафиксировать во время опыта F_B и по возможности F_T ; записать величины в журнал наблюдений.
7. Снять новые размеры образца и записать в журнал.
8. Определить масштаб диаграммы:

по оси абсцисс: $M_{\Delta l} = \frac{\Delta l_{OCT}}{OF}$ – масштаб деформации,

по оси ординат: $M_F = \frac{F_B}{CC'}$ – масштаб сил.

9. Сделать все указанные в лабораторном журнале вычисления и графические построения.

По механическим характеристикам (σ_B , σ_T , δ %) установить марку стали испытанного образца, пользуясь справочными таблицами и стандартами (**ГОСТ 380-71**) и ответить на следующие вопросы:

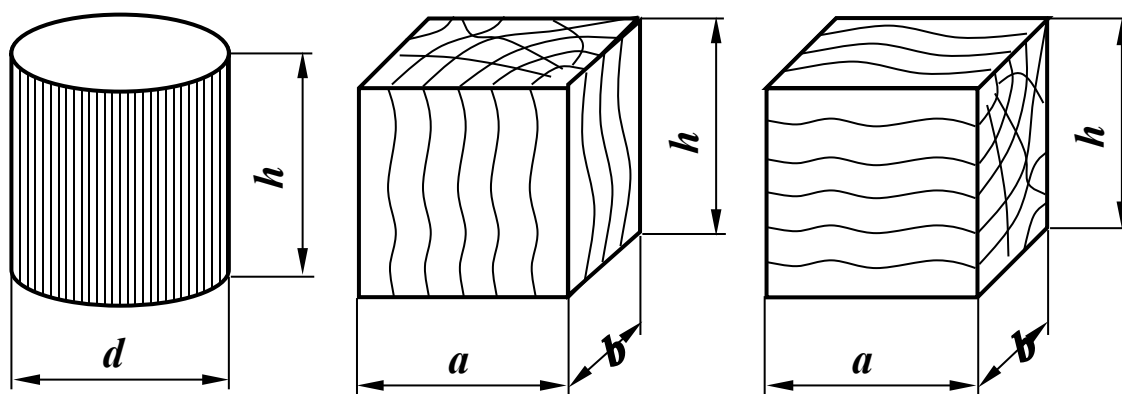
1. Какие величины характеризуют прочность и пластичность материала?
2. Какая разница между условной и истинной диаграммами?
3. Как определяется работа, затраченная на разрыв образца, на упругую деформацию?
4. Что называется пределами пропорциональности, упругости, текучести и прочности (временным сопротивлением)?
5. Какие деформации называются упругими, и какие остаточными (пластическими)?
6. Когда при испытании должны появиться линии Чернова – Людерса?
7. В какой момент испытания появляется шейка на образце?
8. Что такое допустимое напряжение и как оно определяется?
9. Что называется относительным остаточным удлинением, относительным остаточным сужением?
10. Какие материалы считаются пластичными и какие хрупкими?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА ПРИ СЖАТИИ

Цель работы: Определение механических характеристик прочности пластичных, хрупких и анизотропных материалов.

Оборудование и приборы

Испытания металлов на сжатие проводятся с цилиндрическими образцами небольшой высоты с соотношением размеров $1,5 \leq h/d \leq 2$. При большей высоте может произойти изгиб образца. Испытания древесины проводятся на образцах кубической формы размерами $50 \times 50 \times 50$ мм. Торцевые поверхности образцов должны быть строго параллельны друг другу. Общий вид образцов представлен на рисунке 6.



а)

б)

в)

а) сталь (чугун), б) дерево вдоль волокон, в) дерево поперек волокон.

Рисунок 6 – Эскизы образцов.

Испытание проводится на универсальной испытательной машине УММ-20, принципиальная схема которой представлена на рисунке 2. Пишущий прибор при этом вычерчивает диаграмму сжатия.

Теоретические основы

Механические величины, характеризующие поведение материалов при сжатии, можно получить путем обработки диаграммы испытания.

Сжатие пластичного материала. В начале диаграмма сжатия имеет вид, подобный диаграмме растяжения, общий вид которой представлен на рисунке 7. Прямолинейный участок OA соответствует упругой деформации. Предел пропорциональности материала равен:

$$\sigma_{\text{плц}} = \frac{F_{\text{плц}}}{A_0}$$

За точкой A наблюдается небольшой участок, где имеет место быстрое возрастание деформаций. Однако площадка текучести на диаграмме отсутствует.

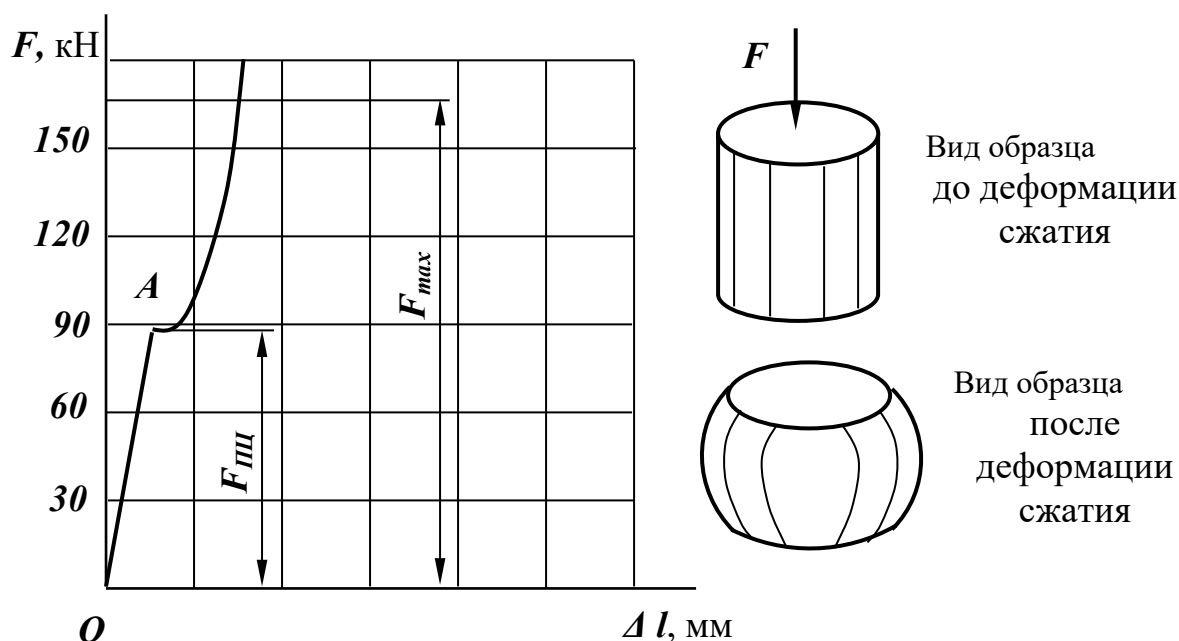


Рисунок 7 – Диаграмма сжатия для пластичных материалов.

При дальнейшем росте нагрузки кривая диаграммы продолжает идти вверх, что свидетельствует о возрастании сопротивления материала сжатию. Однако вскоре рост деформаций начинает отставать от роста усилий. Диаграмма будет иметь выпуклость, обращенную вниз. Это объясняется тем, что с ростом деформаций и укорочением образца возрастают поперечные размеры, а следовательно, и площадь поперечного сечения.

Опыт прекращается прежде, чем образец может быть сплюснен в лепешку, не обнаруживая признаков разрушения. Величина предела прочности не может быть определена, т.к. образец не разрушается.

Сжатие хрупких материалов. Испытание ведется в том же порядке. Образец нагружается до разрушения. Диаграмма сжатия, которая представлена на рисунке 8, показывает, что у хрупких материалов при значительной нагрузке наблюдаются небольшие деформации. От начала координат диаграмма идет по прямой линии, слегка наклонно к оси сил. Затем, все более искривляясь, кривая достигает максимума и резко обрывается. Образец под действием сжимающих сил укорачивается и принимает бочкообразную форму из-за трения между образцом и опорными поверхностями машины. В момент, когда нагрузка достигает

наибольшего значения, образец разрушается с появлением ряда наклонных трещин. Разрушение чугуна при сжатии происходит внезапно, при небольших пластических деформациях, что характерно для всех хрупких материалов.

Зная величину разрушающей нагрузки и первоначальную площадь образца, можно определить предел прочности чугуна на сжатие:

$$\sigma_B = \frac{F_{max}}{A_0}$$

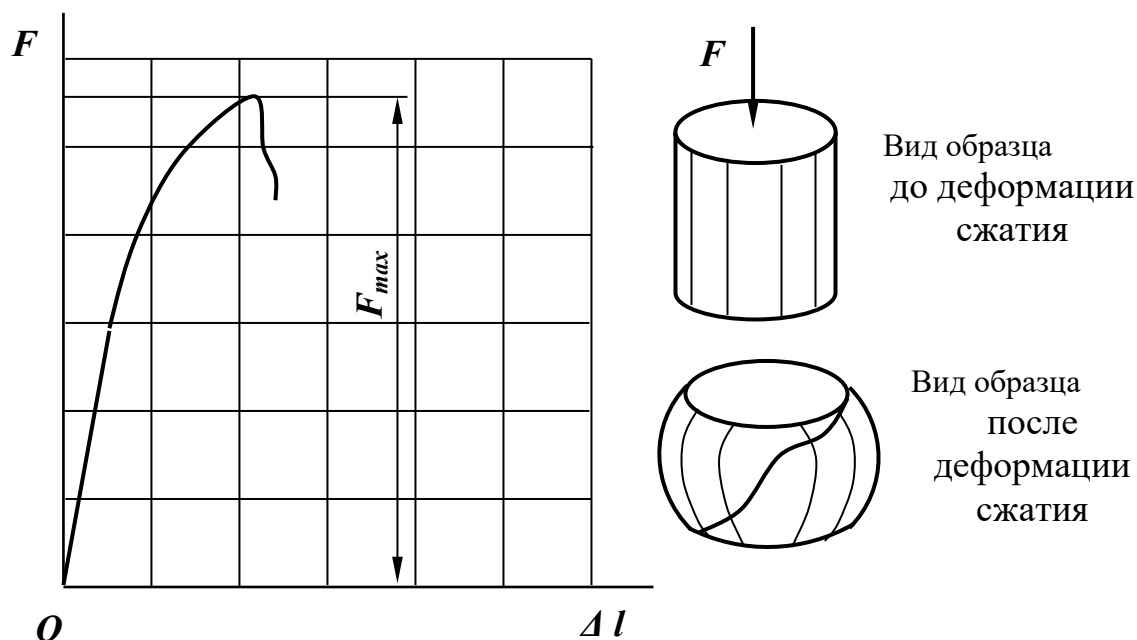


Рисунок 8 – Диаграмма сжатия для хрупких материалов.

Сжатие неоднородного (анизотропного) материала. Так как дерево – материал анизотропный, испытания образцов на сжатие проводятся вдоль и поперек волокон. Образцы имеют форму куба и нагружаются до разрушения. Диаграмма сжатия дерева вдоль и поперек волокон представлена на рисунке 9.

Из диаграммы видно, что образец, испытанный на сжатие вдоль волокон, до разрушения претерпевает сравнительно небольшие остаточные деформации. После достижения наибольшего значения силы начинается разрушение образца с последующим падением нагрузки. Обычно разрушение происходит с образованием поперечных складок и обмятием торцов.

По данным опыта можно определить предел прочности. Предел пропорциональности установить не удается.

Испытание на сжатие поперек волокон имеет другой характер. Линия диаграммы идет по наклонной прямой до нагрузки $F_{пл}$. Затем, подобно тому, как это наблюдается для пластичных материалов, вычерчивается слабо изогнутая кривая, почти параллельная оси абсцисс: кубик быстро

деформируется почти без увеличения нагрузки. Значительный рост деформации без увеличения нагрузки позволяет считать, что грузоподъемность образца уже исчерпана. Поэтому за разрушающую нагрузку F_{max} условно принимается такая нагрузка, при которой кубик сжимается на $1/3$ своей первоначальной высоты. По диаграмме сжатия может быть установлена так же величина $F_{плц}$ – нагрузка, соответствующая пределу пропорциональности.

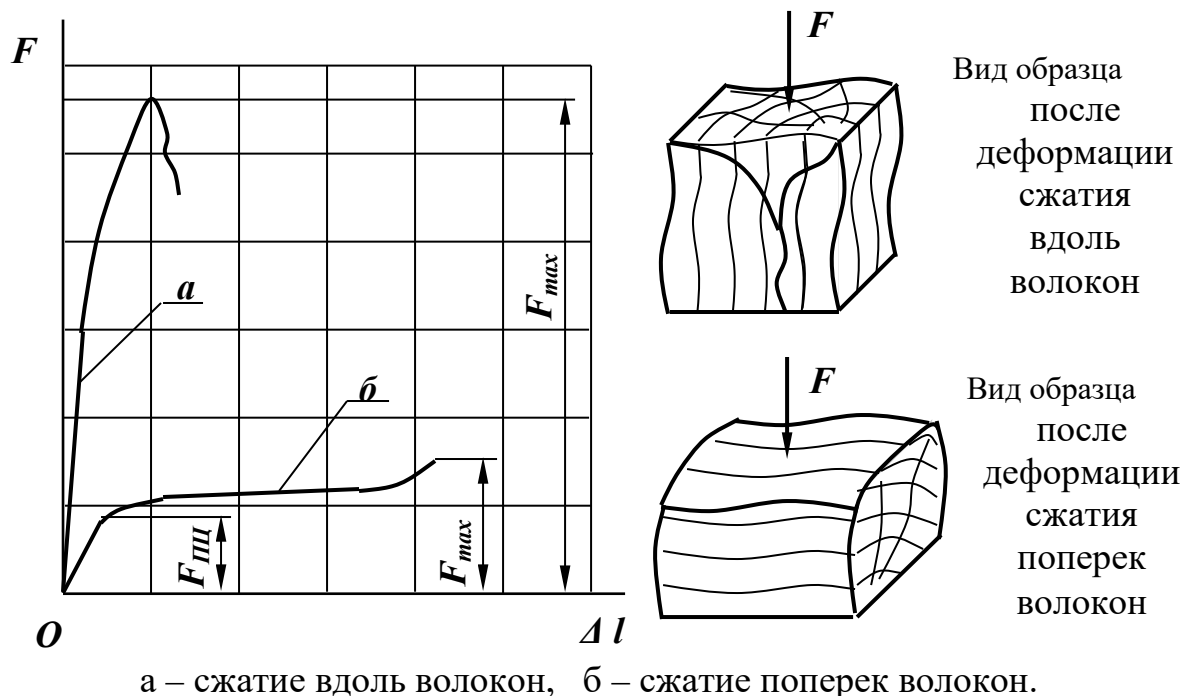


Рисунок 9 – Диаграмма сжатия образца.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством машины и правилами техники безопасности при работе на ней.
2. Провести замер образцов штангенциркулем, записать в журнал.
3. Установить образцы поочередно между опорными плитами машины и постепенно (статически) нагружать непрерывно возрастающей нагрузкой. Шкала Г.
4. Наблюдать за изменением вида образца и изображением диаграммы во время опыта.
5. Зафиксировать во время опыта наибольшую нагрузки F_{max} ; записать величины в журнал наблюдений.
6. Определить масштабы диаграмм по оси нагрузок и по оси деформаций.
7. Сделать все указанные в лабораторном журнале вычисления и графические построения.

8. Занести эскизы образцов до и после деформации в журнал лабораторных работ.

По полученным данным дать сравнительную оценку поведения при сжатии хрупких и пластичных материалов, найти соотношение между пределами прочности для древесины при сжатии вдоль и поперек волокон. Пользуясь справочными данными, установить породу древесины, из которой изготовлены образцы и ответить на следующие вопросы:

1. Как объяснить причины разрушения чугуновых и деревянных образцов?

2. Почему невозможно определить предел прочности при сжатии образца из мягкой стали?

3. Каково различие между диаграммами сжатия древесины вдоль и поперек волокон?

4. Каковы признаки разрушения чугунового образца?

5. Чем объясняется появление бочкообразной формы чугунового образца при сжатии?

6. Какие материалы называются анизотропными?

7. Соблюдается ли закон Гука для чугуна?

8. Для каких материалов пределы прочности на растяжение и сжатие различны?

9. Какое различие в характере разрушения чугуна и древесины при сжатии?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОПЕРЕЧНОМ СЕЧЕНИИ БАЛКИ ПРИ ИЗГИБЕ

Цель работы: Изучение распределения напряжений по сечению при изгибе и сравнение опытных данных с теоретическими.

Оборудование и приборы

В качестве образца в работе используется стальная балка двутаврового сечения. Балка однопролетная нагружается сосредоточенной силой в пролете. Исследованию подлежит сечение, отстоящее на расстоянии a от опоры. Схема установки представлена на рисунке 10.

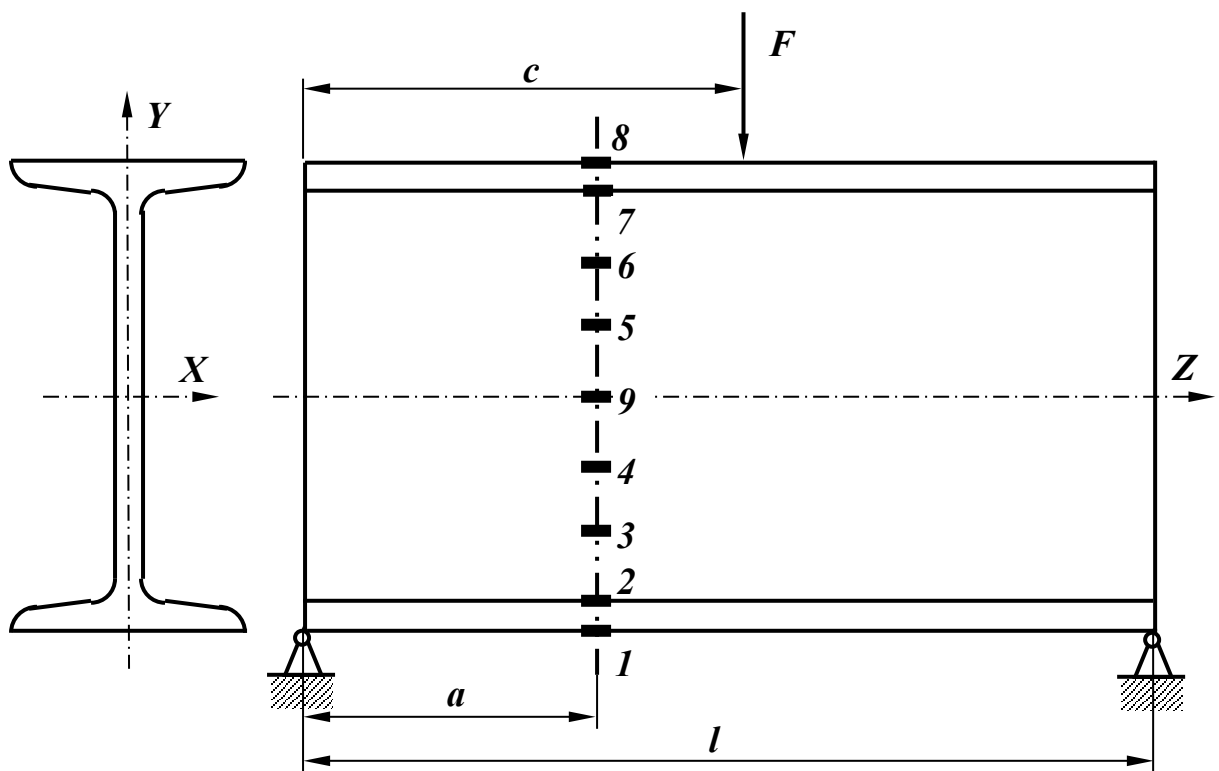


Рисунок 10 – Схема установки для испытания на изгиб с указанием измерительной аппаратуры.

Испытание проводится на универсальной разрывной машине, принципиальная схема которой представлена на рисунке 2. Линейные деформации измеряются с помощью проволочных тензорезисторов, схема установки которых показана на рисунке 10.

Проволочный тензорезистор представляет собой проводник в виде нескольких петель, наклеенный между двумя тонкими слоями бумаги или пластмассы. Схема тензорезистора представлена на рисунке 11.

Тензорезистор включается в мостовую схему ИДЦ-1, которая представлена на рисунке 12.

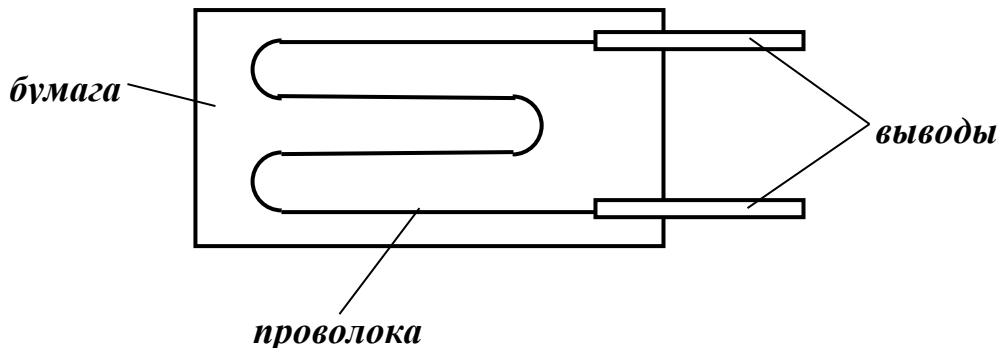


Рисунок 11 – Схема тензорезистора.

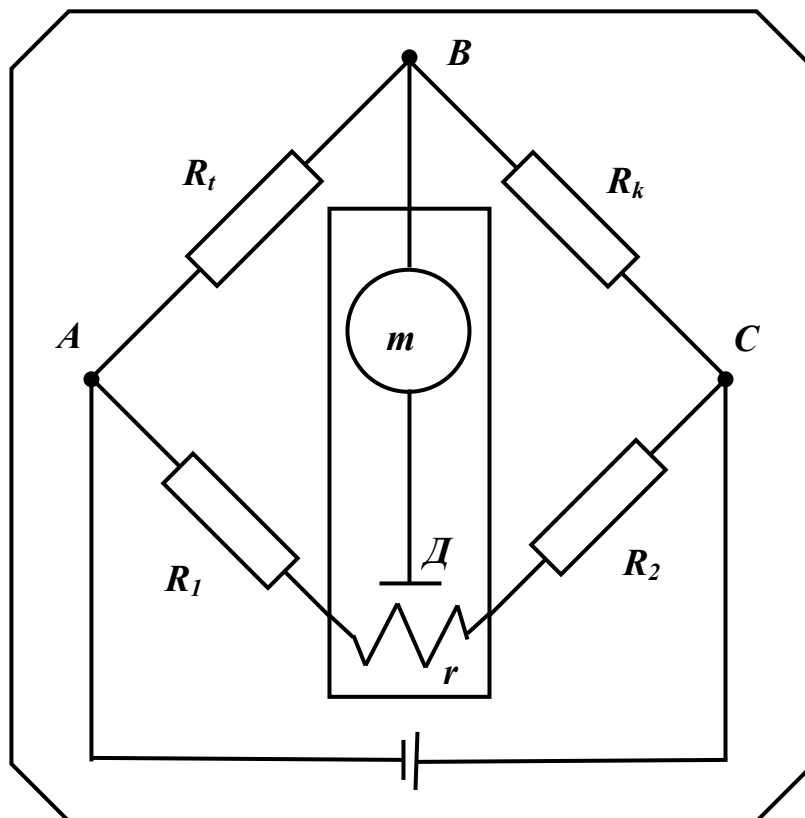


Рисунок 12 – Мостовая схема ИДЦ-1.

При деформации поверхности образца, на которую наклеен тензорезистор, соответственно меняются длина и поперечное сечение проволоки и ее омическое сопротивление R_t . изменение размеров образца и проволоки может быть вызвано колебаниями температуры. Для исключения этого воздействия на работу измерителя в схему включен, так

называемый, компенсирующий тензорезистор с сопротивлением R_k , который наклеен на не нагружаемую деталь из того же материала, что и образец.

При изменении R_t в диагонали моста $ВД$ меняется сила тока, и в блок автоматического уравнивания поступает сигнал разбаланса. После чего происходит автоматическое уравнивание и изменяется показание цифрового табло прибора. При разности показаний цифрового табло можно вычислить соответствующую ей деформацию, умножая эту разность на коэффициент чувствительности тензорезистора. Вывод показаний от нескольких тензорезисторов на табло производится последовательно кнопками «каналы измерения» и «пуск».

Теоретические основы

В поперечных сечениях балки при изгибе действуют нормальные напряжения, распределенные по линейному закону:

$$\sigma_y = \frac{M_x \cdot y}{J_x}, \quad (1)$$

где M_x – изгибающий момент в рассматриваемом сечении,
 J_x – момент инерции сечения относительно нейтральной оси,
 y – расстояние от нейтральной оси до волокна, в котором определяется напряжение.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством испытательной машины.
2. Измерить поперечные размеры и длину балки, вычислить геометрические характеристики J_x и W_x , записать в журнал.
3. Установить балку на шарнирных опорах A и B испытательной машины.
4. Подключить измеритель деформаций к тензорезисторам, находящимся в зоне поперечного изгиба.
5. Последовательно нагрузить балку с помощью испытательной машины усилием 10 кН, 20 кН, 30 кН, 40 кН. На каждом уровне нагрузки снять показания с измерителя для всех тензорезисторов.
6. Подсчитать среднюю разность отсчетов Δ_{cp} по каждому тензорезистору для ступени нагрузки $F = 10$ кН.
7. Определить напряжение $\sigma_{опыт}$ для всех точек, в которых наклеены тензорезисторы, по формуле:

$$\sigma = E \cdot k \cdot \Delta_{cp},$$

где k – коэффициент чувствительности тензодатчика,
 E – модуль продольной упругости материала балки.

8. Определить напряжение $\sigma_{теор}$ для всех точек, в которых наклеены тензорезисторы, по формуле (1).

9. По величинам $\sigma_{опыт}$ и $\sigma_{теор}$ построить эпюры нормальных напряжений, возникающих в поперечном сечении.

Оценить совпадение опытных и расчетных данных и линейность изменения напряжений по высоте и ответить на следующие вопросы:

1. В чем причины расхождения между сравниваемыми теоретическими и опытными данными?

2. Как влияет на величину напряжения положение исследуемого сечения? Размеры балки?

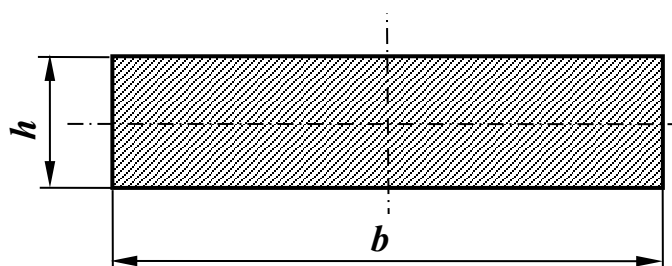
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОГИБОВ И УГЛОВ ПОВОРОТА БАЛКИ НА ДВУХ ОПОРАХ

Цель работы: Определение опытным путем прогибов и углов поворота сечений балки и сравнение их с теоретическими.

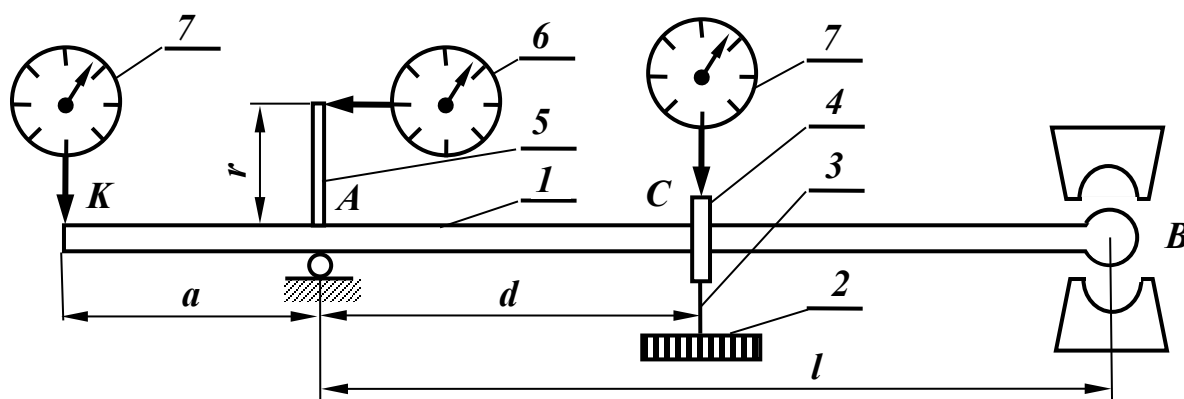
Оборудование и приборы

В качестве образца используется стальная балка прямоугольного сечения. Опыты проводятся на установке, схема которой представлена на рисунке 13.

а) сечение балки



б) схема установки с расположением приборов



в) расчетная схема балки с действующими на нее силами

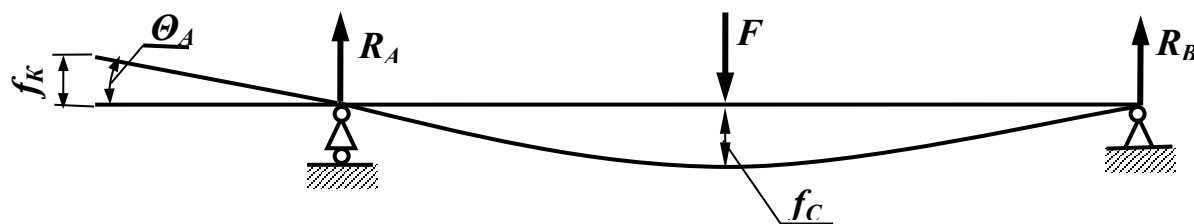


Рисунок 13 – Схема установки для определения прогибов и углов поворота
стальной балки.

Балка (1) с шарнирными опорами A (подвижная) и B (неподвижная) изгибается под действием груза (2), вес которого F . Усилие передается через подвеску (3) и хомут (4) на балку в сечении C , отстоящем на расстоянии d от опоры A .

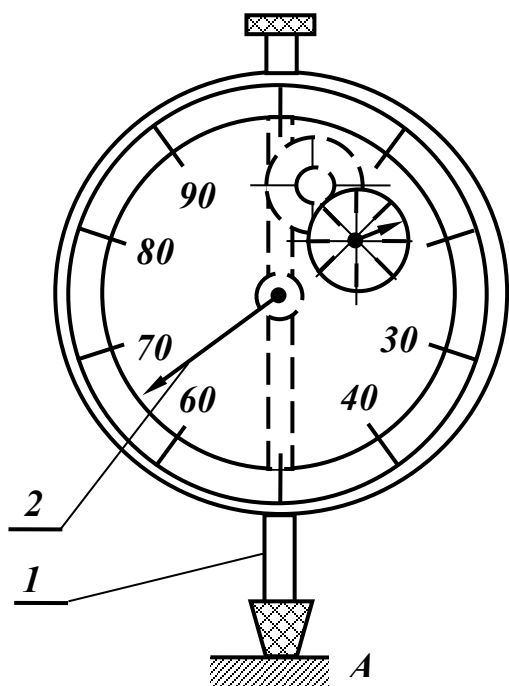


Рисунок 14 – Схема индикатора

Стрелочный индикатор (6) измеряет смещение верхнего конца стержня (5), жестко скрепленного с балкой в точке A . Показание этого индикатора позволяет определить угол поворота сечения балки на опоре A . Стрелочные индикаторы (7) измеряют прогибы в сечениях K и C .

Стрелочный индикатор, схема которого представлена на рисунке 14, служит для измерения линейных перемещений. Вертикальное перемещение штифта (1) индикатора, соответствующее вертикальному перемещению точки A поверхности, через систему зубчатых передач преобразуется во вращение стрелки (2). Один миллиметр вертикального перемещения штифта соответствует

одному полному обороту стрелки. По окружности циферблат разбит на 100 делений, следовательно, цена деления циферблата 0,01 мм. Коэффициент увеличения прибора $K = 100$.

Теоретические основы

Для определения деформаций при изгибе используется основное дифференциальное уравнение упругой линии балки:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M_{(z)}}{E \cdot J_x}, \quad \text{из математики} \quad \frac{1}{\rho} = \frac{d^2 y}{dz^2} = y''_{(z)},$$

следовательно $\frac{M_{(z)}}{E \cdot J_x} = \frac{d^2 y}{dz^2}$, т.е. изгибающий момент в любом произвольном сечении балки, есть не что иное, как вторая производная по переменной координате z . Тогда угол поворота сечения определится, как:

$$y'(z) = \Theta(z) = \frac{1}{E \cdot J_x} \cdot \int M(z) dz + C,$$

а прогиб:

$$y(z) = f(z) = \frac{1}{E \cdot J_x} \int dz \int M(z) dz + C \cdot z + D,$$

где C и D – постоянные интегрирования.

Их физический смысл: C – угол наклона в начале балки,

D – прогиб в начале балки.

Начало балки на опоре A : $D = 0$, $C \neq 0$, в защемлении $C = 0$, $D = 0$.

Постоянная интегрирования C определяется из конечного условия, а именно при $z = l$, $f_B = 0$.

Порядок работы

1. Определить размеры поперечного сечения, длину пролета и длину консоли балки. Записать их величины в журнал.

2. Определить геометрические характеристики поперечного сечения балки, необходимые при теоретическом расчете прогибов и угла поворота.

3. Произвести несколько нагружений в пролете балки. Приращение нагрузки $F = 1$ Н, пределы нагружения от 0 до 4 Н. Показания индикаторов при каждом нагружении занести в журнал.

4. Вычислить среднюю опытную величину прогиба в указанных точках, соответствующую нагрузке 1 Н. Вычислить величину угла поворота сечения балки A .

5. Получить теоретическое значение прогибов балки в середине пролета и на конце консоли, а также угла поворота сечения A аналитическим методом. Теоретический расчет и его результаты записать в журнал лабораторных работ.

6. Вычертить самостоятельно эпюры поперечной силы и изгибающего момента для заданной балки. Сделать необходимые расчеты и построения.

Сравнить результаты теоретического вычисления с опытными данными. Определить ошибку опыта.

Ответить на следующие вопросы:

1. Что такое поперечная сила и чему она равна?
2. Что такое изгибающий момент и чему он равен?
3. Какой метод применяется для определения поперечной силы и изгибающего момента?
4. Что показывает упругая линия балки?

5. Для определения деформаций при изгибе какое используется основное уравнение?

6. Как зависят прогибы в сечениях K и C и угол поворота на опоре A от нагрузки; точки ее приложения, размеров поперечного сечения балки ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОГИБОВ БАЛКИ, ЗАЩЕМЛЕННОЙ ОДНИМ КОНЦОМ

Цель работы: Определение опытным путем величины прогиба свободного конца балки заданной схемы и сравнение его с результатом теоретического расчета.

Оборудование и приборы

В качестве образца в работе используется балка прямоугольного сечения. Опыты проводятся на установке, схема которой приведена на рисунке 15.

Стальной стержень постоянного сечения жестко закреплен одним концом в станине и нагружен силой в заданном сечении. На свободном конце стержня для измерения прогибов устанавливается стрелочный индикатор.

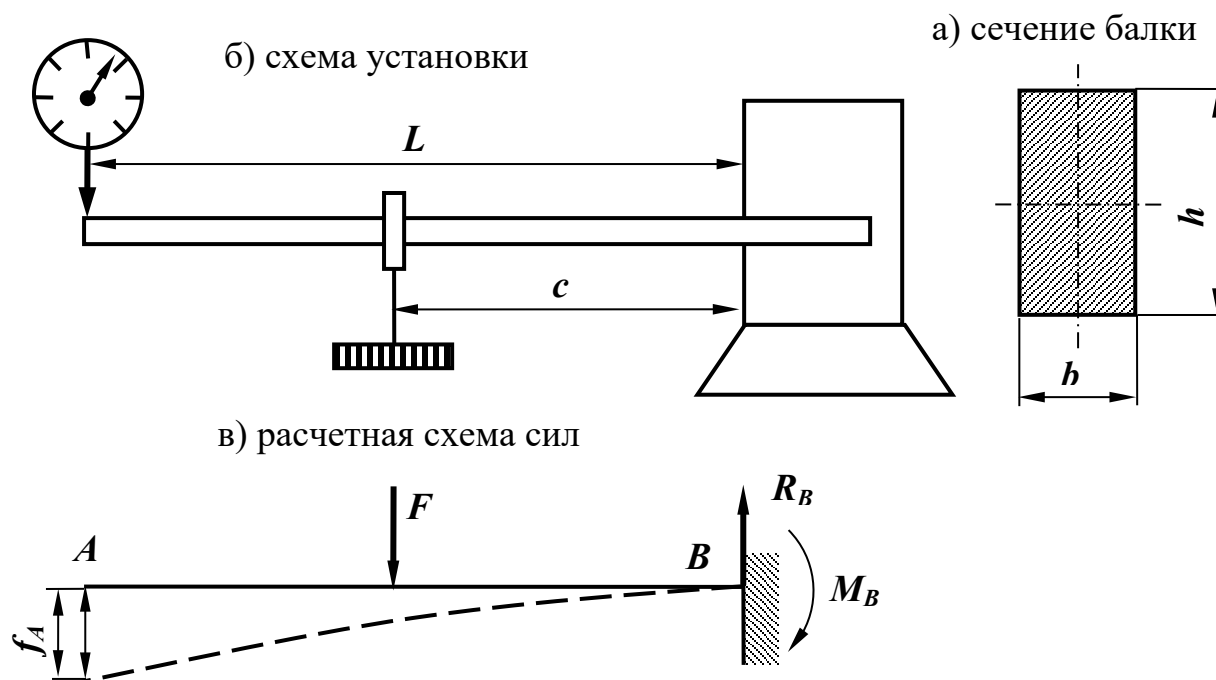


Рисунок 15 – Схема установки и расчетная схема сил, действующих на балку

Теоретические основы

Описание теоретических основ приведено в лабораторной работе 5.

Порядок выполнения работы

1. Определить размеры поперечного сечения, длину консоли, расстояние от заземления до нагружаемого сечения. Записать их величины в журнал.

2. Определить геометрические характеристики поперечного сечения балки, необходимые при теоретическом расчете прогибов.

3. Произвести нагружения в заданном сечении. Пределы нагружения от 0 до 4 Н. Приращение нагрузки $F = 1$ Н. Показания индикатора при каждом нагружении занести в журнал.

4. Вычислить среднюю опытную величину прогиба свободного конца балки, соответствующую нагрузке 1 Н.

5. Получить теоретическое значение прогиба свободного конца балки аналитическим методом. Теоретический расчет и его результаты записать в журнал лабораторных работ.

6. Вычертить самостоятельно эпюры поперечной силы и изгибающего момента для заданной схемы балки. Сделать необходимые расчеты и построения.

Сравнить результаты теоретического вычисления с опытными данными и определить ошибку опыта, ответить на следующие вопросы:

1. Балка какого сечения используется в качестве образца?
2. Почему за начало балки взято заземление?
3. Как изменится прогиб с изменением точки приложения силы; если балку повернуть (поменять местами b и h)?
4. Где будет наибольший прогиб балки?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

ИЗУЧЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ КРУЧЕНИЯ

СТАЛЬНОГО СТЕРЖНЯ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

Цель работы: Проверка закона Гука при кручении, определение модуля упругости материала при сдвиге и предела пропорциональности при кручении.

Оборудование и приборы

При испытании применяется стальной образец, концы которого снабжены шестигранными головками, служащими для закрепления его в зажимах машины. Эскиз образца приведен на рисунке 16.

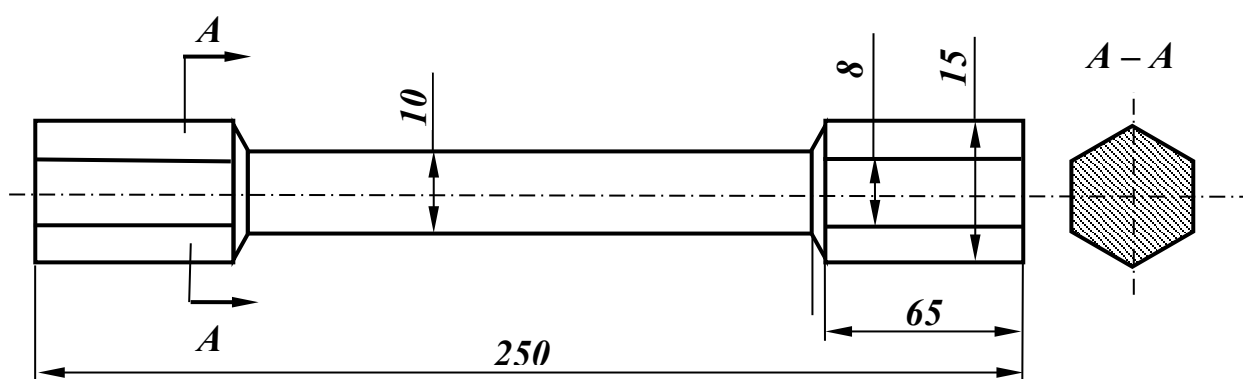
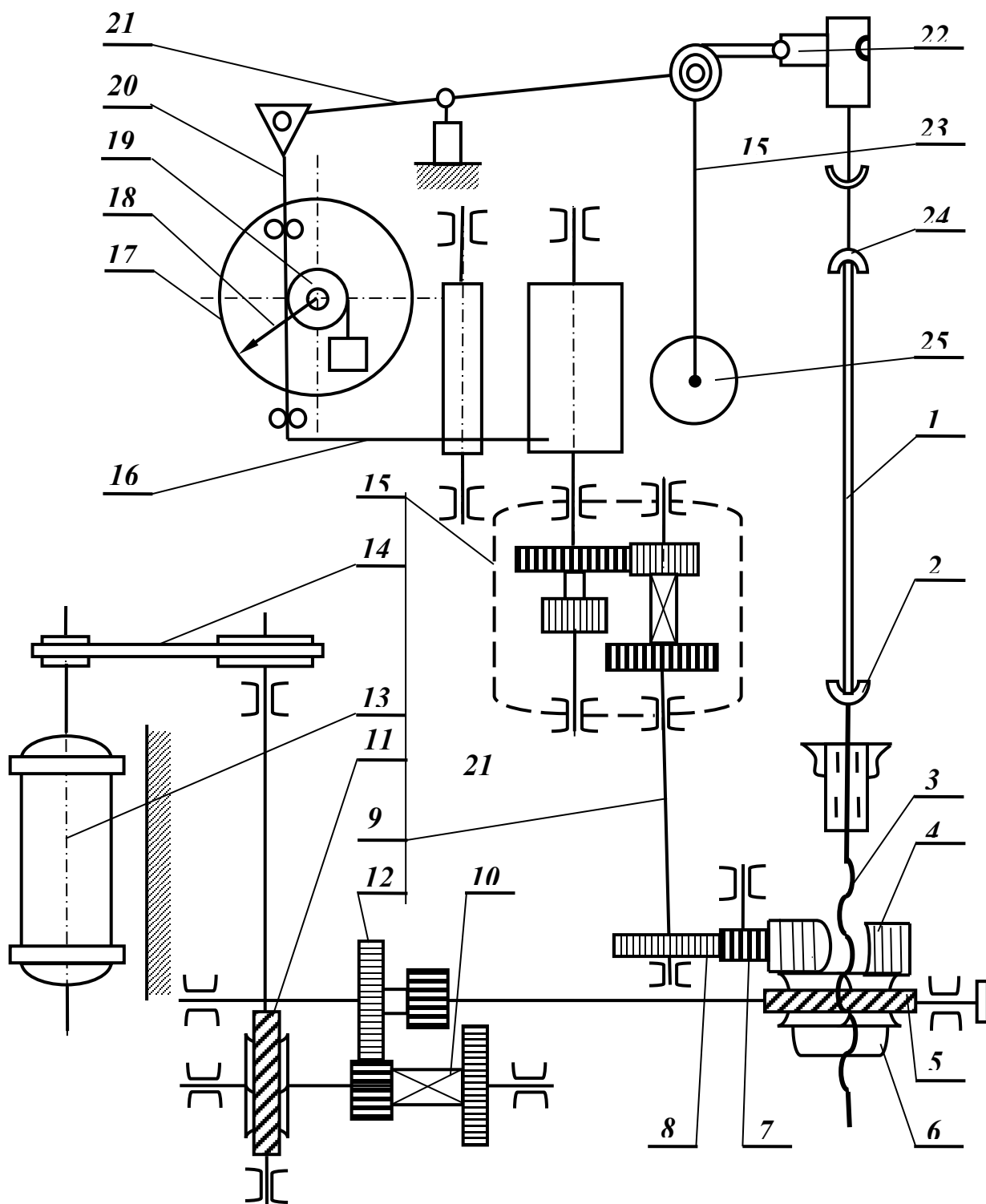


Рисунок 16 – Эскиз образца круглого сечения.

Для испытания образцов на кручение предназначена машина КМ-50-1 с наибольшим крутящим моментом 500 Н·м. Машина относится к типу испытательных машин с механическим нагружением вертикально расположенного образца и рычажно-маятниковым моментоизмерителем. Схема машины представлена на рисунке 17.

Образец (1), зажатый в захватах (2) и (24), подвергают кручению при помощи механизма привода. Привод работает следующим образом: электродвигателем (13), установленным внутри корпуса привода, через клиноременную передачу (14) приводится во вращение червячная пара (11), которая через коробку скоростей (10) и червячную пару (5 и 6) вращает ходовой винт (3) с установленным на нем нижним захватом. Момент, приложенный к нижнему захвату, передается через механизм нагружения (22) маятнику (25), который отклоняется вместе с рычагом (21), связанным с рейкой (20). Последняя, поднимаясь с рычагом (21), вращает шестерню (19), на которой сидит стрелка (18), показывающая крутящий момент на шкале силоизмерителя (17).

Рейка (20) также жестко связана с пером (16) диаграммного аппарата, записывающего диаграмму «крутящий момент – угол



закручивания».

Рисунок 17 – Схема машины КМ-50-1.

На оси ординат диаграммного барабана записывается крутящий момент, а по оси абсцисс – угол закручивания.

Диаграммный аппарат вращается от привода машины через венец (4), шестерни (7, 8), валик 9 и редуктор масштабов (15).

Масштаб записи на диаграммном аппарате – $1 \text{ мм} = 0,5^\circ$ или $1 \text{ мм} = 0,1^\circ$.

Привод машины предназначен для передачи движения от электродвигателя к ходовому винту (3).

При работе электродвигателя в зависимости от установки переключателя (22) активный захват совершает 1 или $0,3$ оборота в минуту.

Для закрепления образцов различной длины нижний активный захват (2) маховиком устанавливают на различной высоте.

Угол закручивания отсчитывают по шкале, установленной на ходовом винте. Шкала имеет 360 делений, цена каждого из них соответствует углу закручивания в 1° .

Целые обороты ходового винта фиксирует специальный счетчик с пределом измерения 10 оборотов. Показания по шкале углов закручивания соответствуют относительному повороту захватов машины, так как поправка на поворот верхнего захвата вносится автоматически корректирующим приспособлением.

Диаграммный аппарат конструктивно выполнен следующим образом: бумагу для диаграммы, предварительно намотанную на валик, закрепляют в специальном зажиме ведущего барабана, который установлен вертикально в корпусе моментоизмерителя.

Барабан получает вращение от червячного колеса (5), на котором закреплен венец (4), он через паразитную шестерню (7), ведомую шестерню (8) и валик приводит во вращение шестерни редуктора масштабов (15) диаграммного аппарата.

Так как по оси абсцисс фиксируются только повороты активного захвата, то для получения истинного значения угла закручивания образца необходимо учитывать угол пассивного захвата. Шаблон прикладывают таким образом, чтобы длинный катет его совпадал с осью ординат диаграммы и начало совпадало с началом координат. В зависимости от масштаба записи делают отметку по одной из двух коротких рисок шаблона.

Прямая, проходящая через полученную отметку и начало системы координат, и будет новой осью ординат. Отрезок прямой от новой оси до полученной в процессе испытания кривой будет соответствовать истинному значению угла закручивания образца в соответствующем масштабе. Способ пользования шаблоном поясняется на рисунке 18.

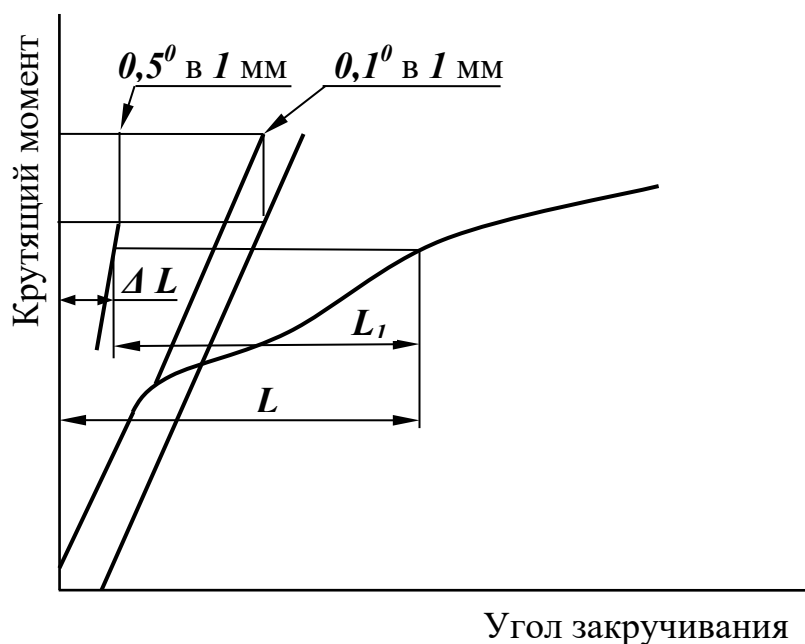
Порядок выполнения работы

1. Ознакомившись с устройством машины, закрепляют образец в захватах машины, предварительно сняв размеры образца:

l – длина рабочей части образца,

D – диаметр поперечного сечения рабочей части.

2. При испытании записываем диаграмму «крутящий момент – угол закручивания».



L – угол поворота активного захвата,

ΔL – угол поворота пассивного захвата,

$L_1 = L - \Delta L$ – действительный угол закручивания.

Рисунок 18 – Метод определения действительного угла закручивания образца

3. Деформируем образец до разрушения. Диаграмма разрушения образца представлена на рисунке 19.

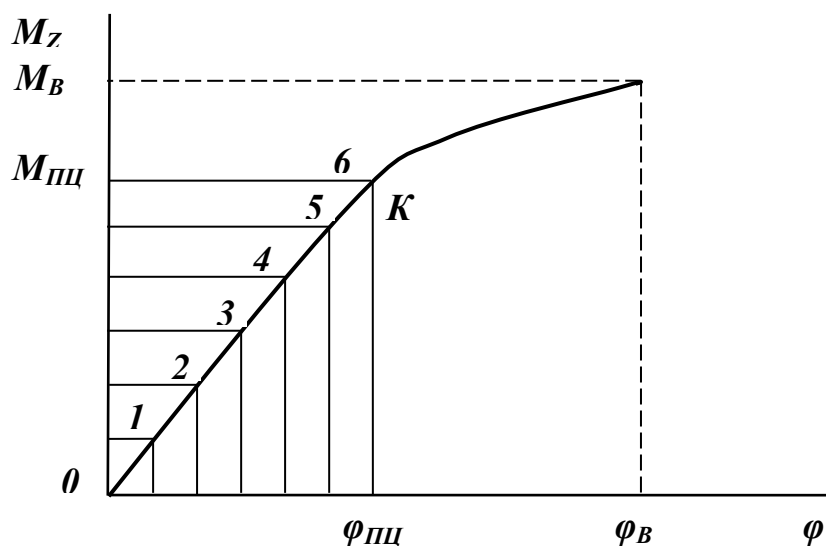


Рисунок 19 – Диаграмма разрушения образца.

На диаграмме получаем две характерные точки:

$M_{шц}$ – крутящий момент, соответствующий пределу пропорциональности,

M_B – крутящий момент, соответствующий пределу прочности.

Следовательно, можем определить характеристики прочности:

$$\tau_{шц} = \frac{M_{шц}}{W_Z} \text{ – предел пропорциональности при кручении,}$$

$$\tau_B = \frac{M_B}{W_Z} \text{ – предел прочности при кручении.}$$

Из масштаба диаграммной записи для угла закручивания и, пользуясь шаблоном (описание приведено выше), определяем угол закручивания:

$\varphi_{шц}$ – угол закручивания, соответствующий пределу пропорциональности,

φ_B – угол закручивания, соответствующий пределу прочности.

В дальнейшем поступаем следующим образом: отрезок OK делим на одинаковые участки, получаем ряд точек – $1, 2, 3, 4, 5$.

Определив масштаб по оси ординат, найдем значения крутящих моментов в каждой из этих точек и определим угол закручивания, соответствующий каждому моменту. Все эти значения занесем в журнал наблюдений. Затем определим среднее приращение угла закручивания, среднее приращение крутящего момента. По найденным значениям углов закручивания и крутящего момента строим график, приведенный на рисунке 20.

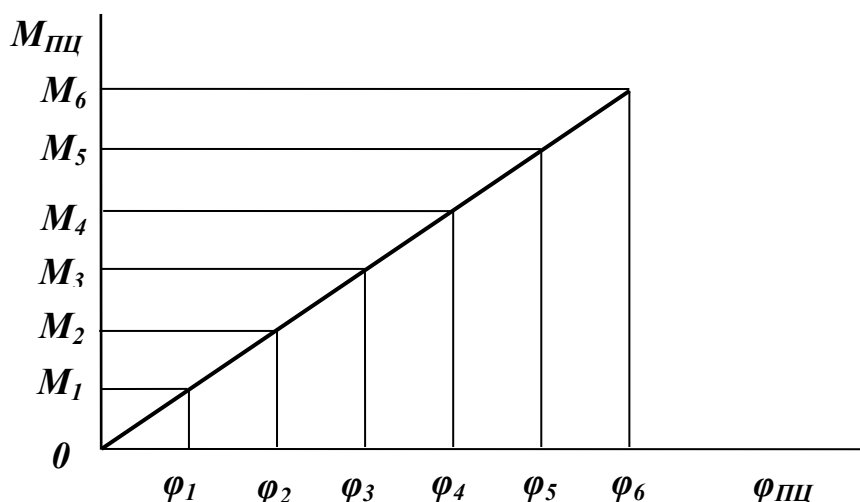


Рисунок 20 – График зависимости крутящего момента от угла закручивания.

Если получим прямую линию, то делаем вывод, что закон Гука справедлив.

По найденным величинам определить модуль сдвига – G и сравнить с табличным, ответить на следующие вопросы:

1. Что происходит с образцом при испытании его на кручение?
2. Какие напряжения возникают при кручении?
3. Чем вызвана ошибка опыта при определении модуля сдвига?
4. Что называется кручением?
5. Назовите гипотезы теории кручения круглого стержня.
6. Какие напряжения возникают в поперечном сечении круглого стержня при кручении и как они определяются?
7. Возникают ли при кручении нормальные напряжения?
8. Чему равен полярный момент инерции поперечного сечения сплошного и полого валов?
9. Что называется моментом сопротивления при кручении? В каких единицах он измеряется?
10. Как подобрать диаметр вала из условия прочности?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОГИБОВ ПРИ КОСОМ ИЗГИБЕ

Цель работы: Определение опытным путем для балки, подвергающейся деформации косоугольного изгиба, величины и направления наибольшего прогиба, определение положения нейтрального слоя и сопоставление этих величин с теоретическими значениями.

Оборудование и приборы

В качестве образца используется балка прямоугольного поперечного сечения, один конец балки закреплён, другой – свободный. Опыты проводятся на установке, схема которой приведена на рисунке 21.

Стальной брус постоянного сечения жёстко закреплён одним концом в станине и нагружен силой в заданном сечении. Специальное устройство позволяет поворачивать балку вокруг оси и фиксировать угол наклона главных центральных осей. На свободном конце балки для измерения составляющих прогибов устанавливаются стрелочные индикаторы.

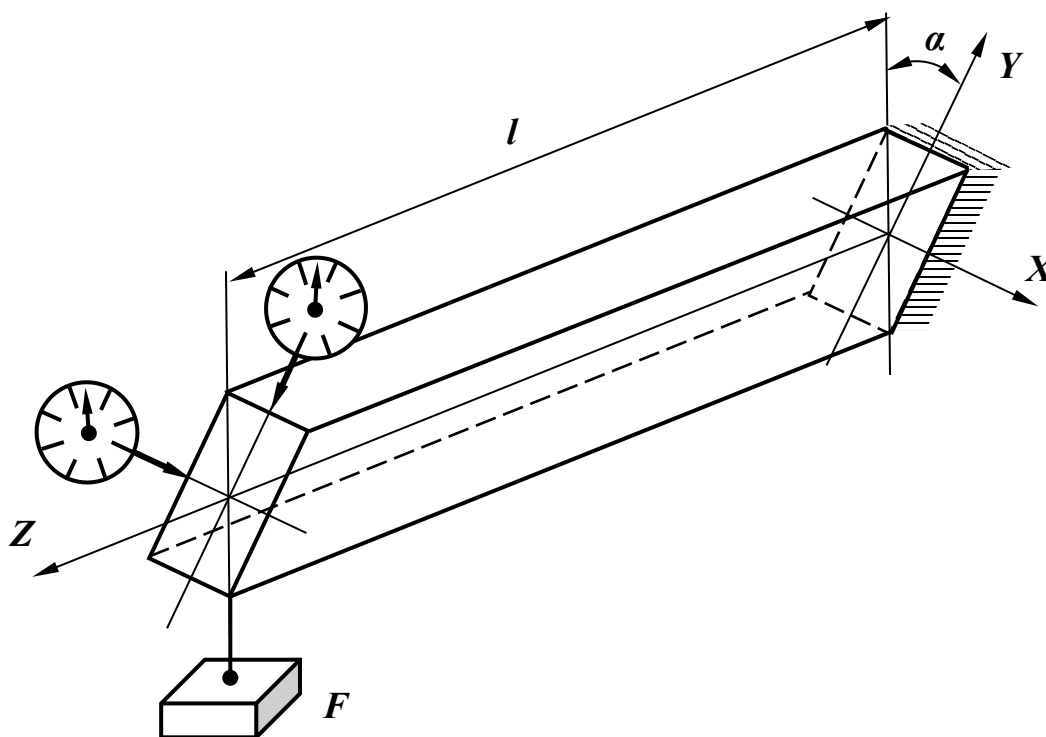


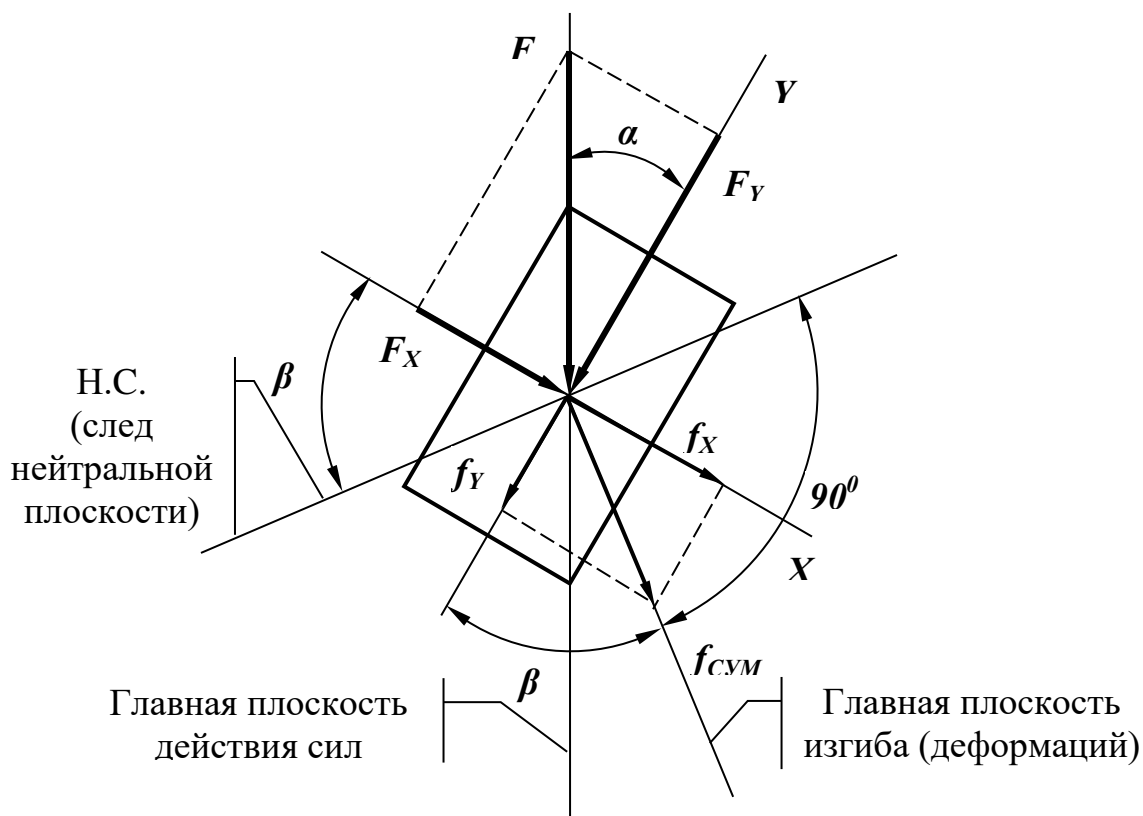
Рисунок 21 – Схема установки (с расположением приборов).

Сосредоточенная сила F прикладывается в заданном преподавателем сечении балки с помощью грузов. Деформации (прогибы)

замеряются стрелочными индикаторами с ценой деления **0,01** мм. Индикаторы устанавливаются на штативе.

Теоретические основы

Деформация, при которой силы, действующие перпендикулярно оси балки, не лежат в главной нейтральной плоскости, называется косым изгибом. Схема действия сил показана на рисунке 22.



X и Y – главные оси инерции сечения

Рисунок 22 – Схема деформации свободного конца балки при косом изгибе.

Раскладывая силу F , не лежащую в главной центральной плоскости, на две составляющие $F_X = F \sin \alpha$ и $F_Y = F \cos \alpha$, каждая из которых лежит в главной центральной плоскости, можно свести случай косоуго изгиба к двум простым изгибам в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Деформации и напряжения от составляющих F_X и F_Y в этом случае определяются по формулам, известным из теории простого изгиба.

Так, от вертикальной силы F_Y балка прогнется вниз на величину:

$$f_Y = -\frac{F_Y l^3}{3EJ_X}.$$

От горизонтальной составляющей F_X горизонтальное перемещение балки:

$$f_X = -\frac{F_X l^3}{3EJ_Y}.$$

Прогиб суммарный:

$$f_C = \sqrt{f_X^2 + f_Y^2}.$$

Суммарное нормальное напряжение закрепленного конца балки определится:

$$\sigma = \pm\sigma_X \pm \sigma_Y = \pm \frac{M_X y}{J_X} \pm \frac{M_Y x}{J_Y},$$

где $M_X = Fl \cos \alpha$,

$$M_Y = Fl \sin \alpha.$$

Нейтральный слой при косом изгибе проходит через центр тяжести поперечного сечения и перпендикулярен плоскости деформаций. Положение нейтрального слоя определится из условия $\sigma_C = 0$:

$$\operatorname{tg} \beta = -\operatorname{tg} \alpha \frac{J_X}{J_Y}.$$

Направление полного прогиба, в чем нетрудно убедиться из рисунка 22, вычисляется аналитически по формуле:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{f_X}{f_Y} = \operatorname{tg} \alpha \frac{J_X}{J_Y}.$$

Порядок выполнения работы

1. Снять поперечные размеры образца, записать их и характеристики приборов в журнал наблюдений.
2. Провести теоретические вычисления прогибов и направления полного прогиба в исследуемом сечении, заданном преподавателем.
3. Повернуть балку вокруг продольной оси на заданный угол α (задается преподавателем).
4. Установить индикаторы непосредственно на образец в вертикальной и горизонтальной плоскостях поперечного сечения.

5. Произвести постепенное нагружение образца ступенями в 1 Н , помещая гири на подвеску, до $F_{max} = 4 \text{ Н}$.

6. При каждой ступени нагрузки записывать показания индикаторов.

7. Результаты опыта занести в журнал наблюдений.

8. Подсчитать суммарный прогиб балки в заданном сечении и сравнить с теоретическим.

9. Подсчитать угол наклона плоскости изгиба к главной оси и сравнить с теоретическим. Сделать необходимые графические построения в журнале наблюдений.

Кратко изложить выводы по работе и ответить на следующие вопросы:

1. Какой вид нагружения называется изгибом?

2. Какие геометрические характеристики используются для определения прогиба балки?

3. Какой случай изгиба называется плоским, а какой косым изгибом?

4. Как направлен суммарный прогиб по отношению к действующей силе?

5. Какие сечения балки рационально применять при косом изгибе

6. Как определяются напряжения и прогиб опытным путем?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9 ВНЕЦЕНТРЕННОЕ РАСТЯЖЕНИЕ СТЕРЖНЯ

Цель работы: Определение нормальных напряжений в поперечном сечении стержня при внецентренном растяжении. Определение положения нейтрального слоя.

Оборудование и приборы

Испытанию подвергается полоса прямоугольного поперечного сечения. Испытание проводится на универсальной испытательной машине УММ-20. Принцип ее работы описан в лабораторной работе № 1, а принципиальная схема представлена на рисунке 2. Схема установки образца приведена на рисунке 23.

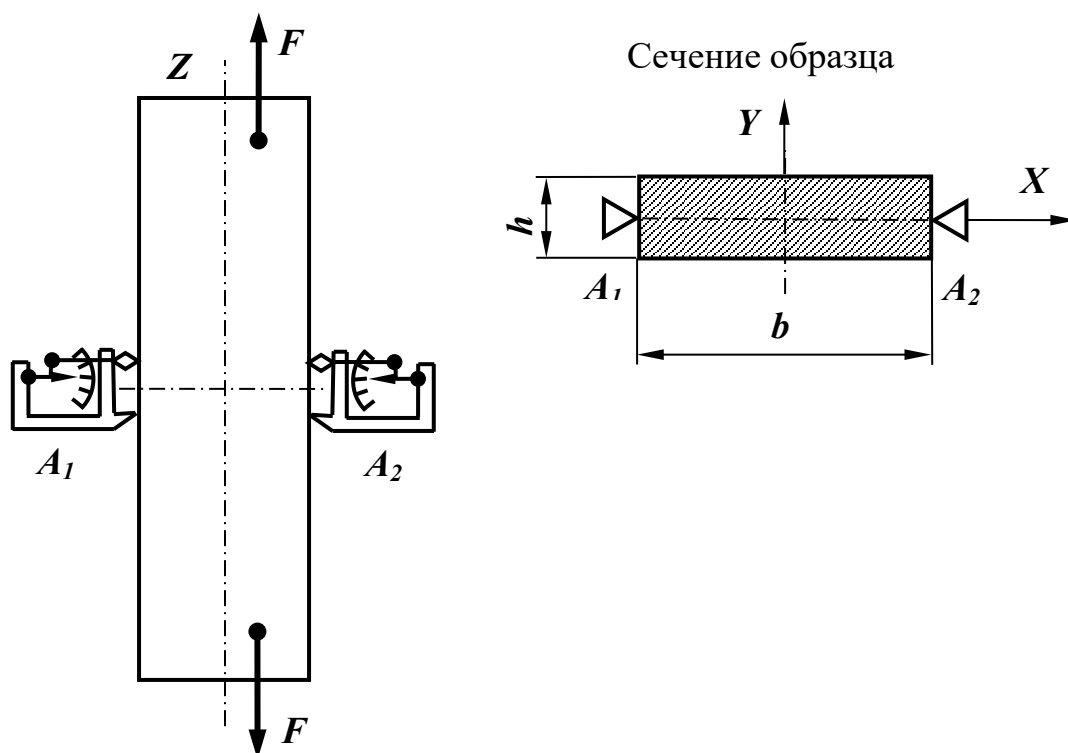


Рисунок 23 – Эскиз образца с расстановкой приборов.

Для измерения деформаций образца служат рычажные тензометры, схема которого представлена на рисунке 3. Описание прибора и принцип его работы приведены в лабораторной работе № 1.

Теоретические основы

Если растягивающая (сжимающая) сила приложена к стержню с некоторым эксцентриситетом относительно оси, проходящей через центр тяжести сечения, в деформируемом стержне (брусе) возникает поперечный изгиб относительно одной или обеих осей сечения, и нормальные напряжения по сечению распределяются неравномерно. Суммарные нормальные напряжения в поперечном сечении определяются по формуле:

$$\sigma_C = \pm \frac{F}{A_0} \pm \frac{M_X y}{J_X} \pm \frac{M_Y x}{J_Y},$$

где F – нагрузка, Н,
 A_0 – площадь поперечного сечения,
 x, y – координаты точки, в которой определяется напряжение,
 J_X, J_Y – моменты инерции сечения относительно осей X, Y ,
 M_X, M_Y – изгибающие моменты относительно осей X, Y :

$$M_X = Fy_F, \quad M_Y = Fx_F,$$

x_F, y_F – координаты точки приложения силы относительно осей X и Y (эксцентриситет).

Приведенная формула позволяет определить нормальные напряжения в любой точке сечения стержня, если вместо x и y подставить координаты данной точки относительно главных осей с учетом их знаков. Для определения координат точек сечения, в которых возникают наибольшие напряжения, необходимо знать положение нейтрального слоя, поскольку наибольшие напряжения возникают в точках, наиболее от него удаленных.

Положение нейтрального слоя определяется из условия $\sigma_C = 0$:

$$\frac{y_F y_{H.C.}}{i_X^2} + \frac{x_F x_{H.C.}}{i_Y^2} + 1 = 0,$$

где $x_{H.C.}, y_{H.C.}$ – координаты точки, принадлежащей нейтральному слою,

i_X, i_Y – радиусы инерции сечения относительно главных осей.

Подставляя в это уравнение поочередно $x_F = 0, y_F = 0$, находим отрезки $y_{H.C.}, x_{H.C.}$, отсекаемые нейтральной линией на осях X и Y :

$$y_{H.C.} = -\frac{i_X^2}{y_F}, \quad x_{H.C.} = -\frac{i_Y^2}{x_F}.$$

Из полученных зависимостей следует, что чем дальше сила от центра, тем ближе к центру нейтральный слой. Нейтральный слой делит сечение стержня на две части: сжатую и растянутую.

Порядок выполнения работы

1. Снять поперечные размеры образца, определить эксцентриситет точки приложения силы и координаты точек, в которых определяется напряжение, записать их и характеристики приборов в журнал наблюдений.

2. Образец закрепить в захватах испытательной машины.

3. Тензометры установить непосредственно на образец в крайних волокнах поперечного сечения.

4. Произвести постепенное нагружение образца ступенями в 5000 Н до $F_{max} = 20000$ Н, фиксируемыми силоизмерителем машины.

5. При каждой ступени нагрузки записывать показания тензометров.

6. Результаты опыта занести в журнал наблюдений.

7. Рассчитать теоретические нормальные напряжения в исследуемых волокнах, сделать необходимые графические построения.

Сравнить экспериментальные величины напряжений с теоретическими, ответить на следующие вопросы:

1. Что такое нейтральный слой?
2. На какие две части делит сечение стержня нейтральный слой?
3. Как найти положение нейтрального слоя?
4. Как выглядит эпюра напряжений?
5. От чего зависит знак напряжений?
6. Какого сечения используется образец при испытании?
7. От каких величин зависят суммарные нормальные напряжения в поперечном сечении?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ КРИТИЧЕСКОЙ СИЛЫ ПРИ ПРОДОЛЬНОМ ИЗГИБЕ В УПРУГОЙ СТАДИИ

Цель работы: Экспериментальным путем определить критическую силу и сравнить полученные результаты с рассчитанными по аналитическим формулам.

Оборудование и приборы

В качестве образца применяются деревянные стойки длиной l и прямоугольным поперечным сечением $b \times h$. Опыты проводятся на испытательной машине УММ-20, схема которой приведена в лабораторной работе № 1 на рисунке 2. Схема установки образца приведена на рисунке 24. Стойка (1) опирается на опоры (2,3). Опора (3) подвижная и служит нагрузкой. При потере устойчивости стойка немного изгибается, этот момент фиксируется по резкому изменению деформации, при почти не изменяющейся нагрузке в показаниях силоизмерителя.

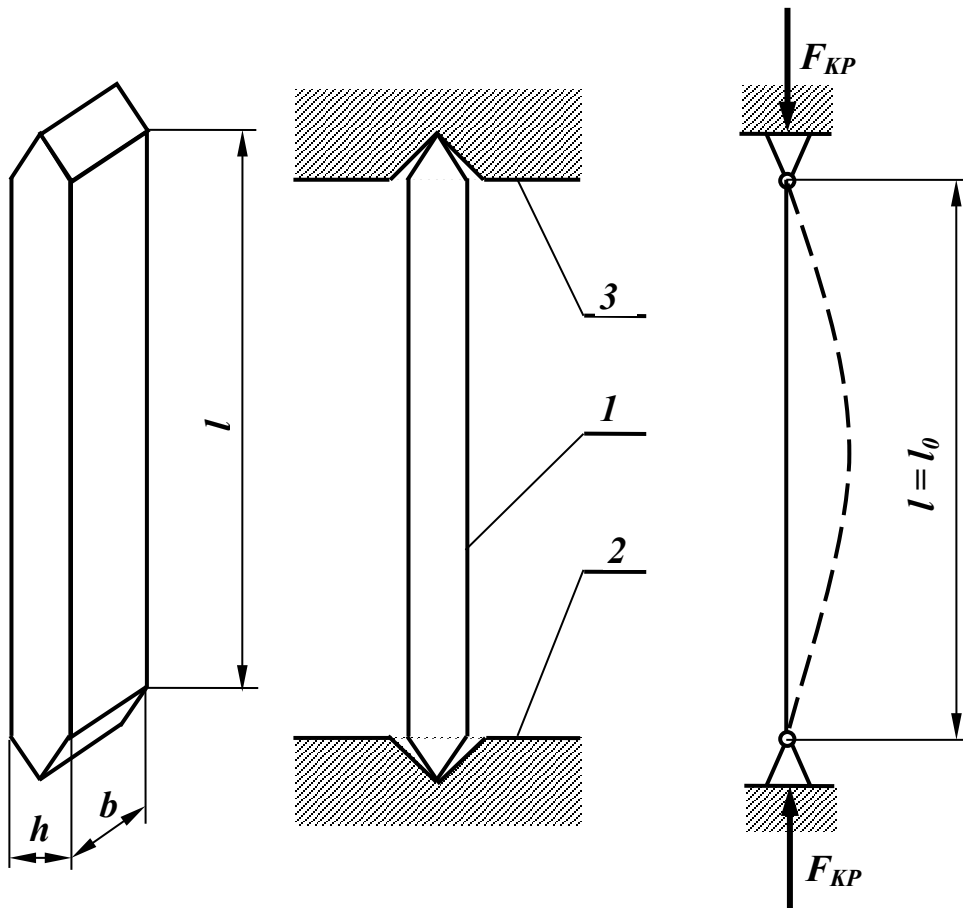


Рисунок 24 – Схема установки образца.

Теоретические основы

Если сжимать вдоль оси длинный стержень, то под действием достаточно большой силы он может изогнуться, потерять прямолинейную устойчивую форму равновесия. Изгиб, происходящий под действием продольной сжимающей силы, принято называть продольным изгибом. Как показывают опыты, явление потери устойчивости происходит только тогда, когда сжимающая сила достигла некоторой предельной величины, называемой критической силой $F_{кр}$.

Величина критической силы в пределах упругости может быть определена по формуле Эйлера:

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 E J_{min}}{(\mu l)^2},$$

где E – модуль упругости материала стержня,

J_{min} – минимальный момент инерции поперечного сечения стержня,

l – длина стержня,

μ – коэффициент приведения длины, который зависит от способа закрепления стержня:

при шарнирных опорах – $\mu = 1,0$,

при заделанных концах стойки – $\mu = 0,5$,

при одном конце заделанном и другом шарнирном – $\mu = 0,7$.

Однако формула Эйлера справедлива только в том случае, когда критическое напряжение $\sigma_{кр}$ меньше предела пропорциональности $\sigma_{п}$, т.е. только при условии:

$$\sigma_{кр} \leq \sigma_{п} \quad \text{или} \quad \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \leq \sigma_{п},$$

где λ – гибкость стержня, $\lambda = \frac{\mu l}{i_{min}}$,

i_{min} – минимальный радиус инерции поперечного сечения :

$$i_{min} = \sqrt{\frac{J_{min}}{A}}.$$

Откуда $\lambda_{пр} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_{п}}}$ – предельная гибкость стержня, т.е.

наименьшая гибкость, при которой еще можно пользоваться формулой Эйлера:

для малоуглеродистой стали – $\lambda_{пр} = 100$,

для дерева (сосны) – $\lambda_{пр} = 110$.

Если гибкость стержня λ меньше $\lambda_{ПР}$, то прежде чем стержень потеряет устойчивость, в нем появятся пластические деформации, однако и в этом случае при увеличении нагрузки может наступить продольный изгиб и стержень потеряет устойчивость, но уже за пределами упругости. В этих случаях пользуются формулой Тетмайера – Ясинского:

$$\sigma_{КР} = \alpha - \beta \lambda ,$$

где α и β – коэффициенты, зависящие от материала.

Для практических расчетов можно пользоваться обобщенным методом определения величины критической силы при любых значениях гибкости:

$$[F] = \varphi [\sigma_C] A ,$$

где $[F]$ – допускаемая нагрузка,

$[\sigma_C]$ – основное допускаемое напряжение на сжатие, которое определяется:

$$[\sigma_C] = \frac{\sigma_{КР}}{k} ,$$

$\sigma_{КР}$ – предельное напряжение, принимаемое равным пределу текучести для пластичных материалов и пределу прочности для хрупких материалов,

k – коэффициент запаса прочности,

φ – коэффициент продольного изгиба, зависит от материала и гибкости, берется из таблиц.

Порядок выполнения работы

1. Перед началом опыта снять размеры образцов, определить геометрические характеристики поперечного сечения, предельную гибкость и критическую силу. Результаты теоретического вычисления занести в журнал.

2. Установить стержни (стойки) поочередно в зажимы машины и подвергнуть испытанию.

3. Загружать стержни до момента потери устойчивости, величина нагрузки в этот момент есть критическая сила для данного стержня.

4. Занести показания силоизмерителя в журнал наблюдений, сравнить результаты опытов и теоретических значений определяемых величин критической силы.

5. Сделать итоговые выводы.

Ответить на следующие вопросы:

1. Что называется продольным изгибом?

2. На какой испытательной машине проводятся опыты на продольный изгиб стоек?
3. Как ведет себя стержень, сжатый вдоль его оси?
4. Дать определение критической нагрузки.
5. По какой формуле определяется величина критической силы?
6. От чего зависит величина критической силы?
7. Когда стержень теряет свою устойчивость?
8. Зависит ли коэффициент приведения длины от способа закрепления стержня?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИШНЕЙ ОПОРНОЙ РЕАКЦИИ БАЛКИ

Цель работы: Определение опытным путем величины опорной реакции в статически неопределимой балке и сравнение ее с теоретическим значением, вычисленным аналитическим способом.

Оборудование и приборы

Балка AB жестко закреплена одним концом B , свободно опирается в точке A и нагружена сосредоточенной силой F в пролете (сечение указывается преподавателем). Схема установки и схема сил, действующих на балку, представлена на рисунке 25. При расчете этой системы опора A обычно отбрасывается и заменяется силой A . Значение силы A подбирается затем из условия, что прогиб точки A балки AB , закрепленной одним концом, под действием заданной силы F и неизвестной силы A был равен нулю. На опыте осуществляется именно эта основная статически определимая система. Нагрузка передается балке при помощи подвески (1), на которую кладут грузы.

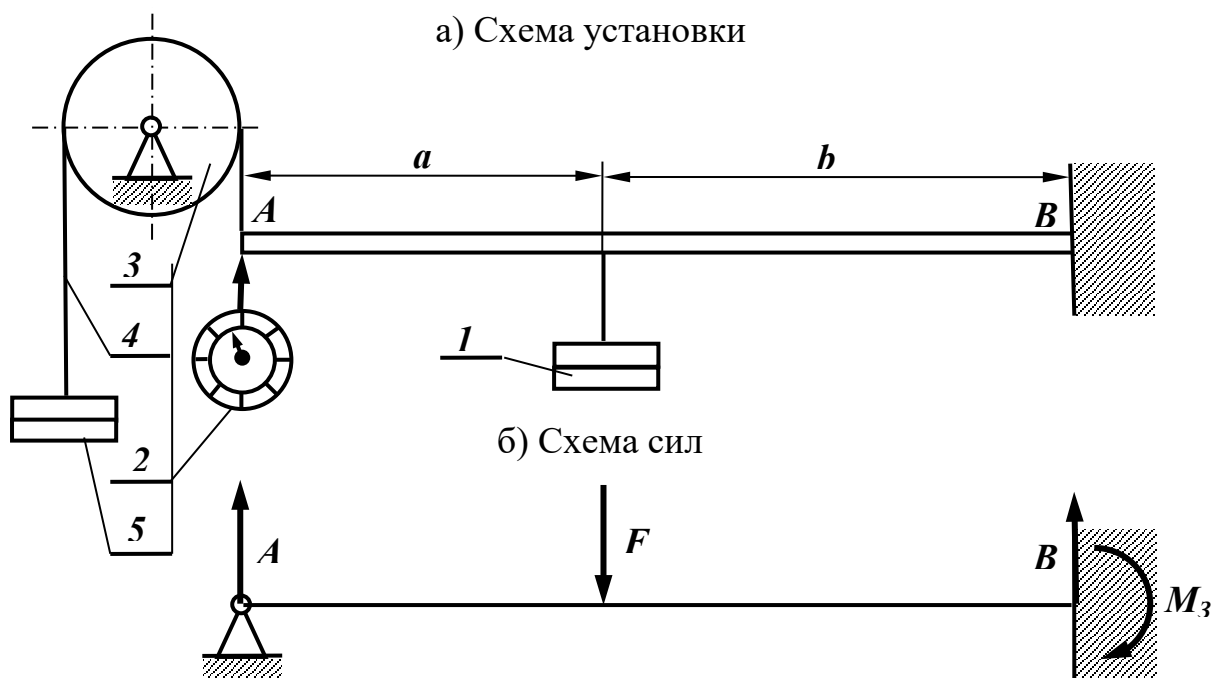


Рисунок 25 – Схема установки и схема сил, действующих на балку.

На конце балки в точке A с помощью штатива устанавливается индикатор (2). Здесь же устанавливается блок (3), через который перебрасывается тросик (4), к одному концу привязана подвеска для грузов (5), а второй конец прикрепляется к свободному концу балки.

Теоретические основы

Балка, у которой число неизвестных превышает число уравнений статики, называется статически неопределимой. Для решения таких балок, кроме уравнений статики, необходимо составлять дополнительные уравнения, называемые уравнениями перемещений (деформаций). Они получаются из рассмотрения условий деформации балки. Для решения статически неопределимых однопролетных балок используется аналитический способ (или метод интегрирования), который основан на интегрировании выражения кривизны балки.

Пример решения статически неопределимой балки аналитическим способом.

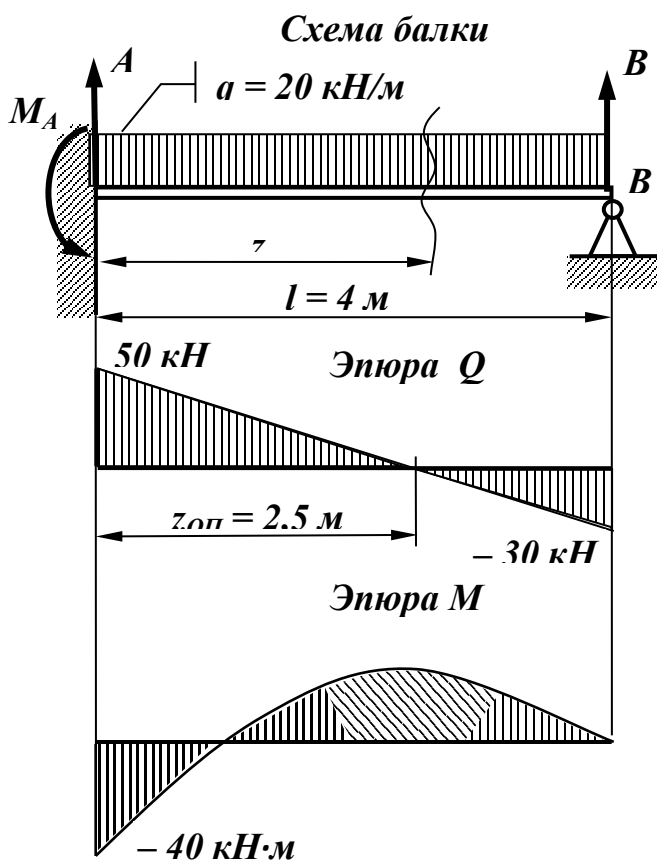


Рисунок 26 – Эюры Q и M .

1. Составить два уравнения статики:

$$\sum F_Y = 0, \quad A - ql + B = 0, \quad (1)$$

$$\sum M_B = 0, \quad -M_A + Al - \frac{ql^2}{2} = 0. \quad (2)$$

2. Составить дополнительное уравнение – уравнение деформаций при изгибе:

а) Выражение изгибающего момента для последнего участка балки:

$$M_{(z)} = -M_A + Az - q \frac{z^2}{2},$$

б) Выражение кривизны балки:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M_{(z)}}{EJ_x} = \frac{1}{EJ_x} \left(-M_A + Az - q \frac{z^2}{2} \right)$$

в) Интегрируем выражение кривизны дважды:

$$\text{уравнение углов наклона: } \theta_{(z)} = \frac{1}{EJ_x} \left(-M_A z + A \frac{z^2}{2} - q \frac{z^3}{6} \right) + C,$$

$$\text{уравнение прогибов: } f_{(z)} = \frac{1}{EJ_x} \left(-M_A \frac{z^2}{2} + A \frac{z^3}{6} - q \frac{z^4}{24} \right) + Cz + D,$$

$C = 0$, $D = 0$, так как начало балки – защемление,

а C – угол наклона в начале балки, D – прогиб в начале балки.

При $z = l$, $f_B = 0$ получим 3 – е уравнение:

$$-M_A \frac{l^2}{2} + A \frac{l^3}{6} - q \frac{l^4}{24} = 0,$$

или

$$-12M_A + 4Al - ql^2 = 0. \quad (3)$$

Решая совместно 3 уравнения, определить три неизвестных опорных реакции M_A , A и B

$$\begin{array}{l} -12M_A + 4Al - ql^2 = 0 \quad | \quad 1 \\ -2M_A + 2Al - ql^2 = 0 \quad | \quad 2 \end{array}$$

$$-8M_A = -ql^2.$$

$$M_A = q \frac{l^2}{8} = 20 \frac{4^2}{8} = 40 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Подставляя в уравнение (2)

$$-q \frac{l^2}{8} + Al - q \frac{l^2}{2} = 0, \text{ или } A = q \frac{5l}{8} = 20 \frac{5 \cdot 4}{8} = 50 \text{ кН}.$$

Из уравнения (1)

$$B = q \frac{3l}{8} = 20 \frac{3 \cdot 4}{8} = 30 \text{ кН}.$$

3. Построить эпюры Q и $M_{изг}$.

$$Q_I = A - qz :$$

при $z = 0$ – $Q_I = 50$ кН

$z = 4$ м – $Q_I = -30$ кН.

$z_{0П}$ из условия $Q_I = A - qz_{0П} = 0$, $z_{0П} = 2,5$ м.

$$M_I = -M_A + Az - q \frac{z^2}{2} :$$

при $z = 0$ – $M_I = -40$ кН·м

$$z_{оп} = 2,5 \text{ м} – M_{оп} = -M_A + Az_{оп} - q \frac{z_{оп}^2}{2} = 22,5 \text{ кН·м}$$

$$z = 4 \text{ м} – M_I = 0 .$$

Порядок выполнения работы

1. Снять размеры поперечного сечения балки, измерить длину балки.
2. Определить характеристики поперечного сечения балки, отмеченные в журнале.
3. Установить подвеску (1) в сечении, указанном преподавателем.
4. Нагружать балку грузами **0, 5, 10, 15, 20 Н**.
5. При каждом нагружении балка прогнется. Индикатор, установленный на конце балки покажет деформацию в единицах индикатора.
6. Так как на опоре прогиб должен равняться нулю, поэтому на подвеску (5) устанавливается уравнивающий груз после каждого нагружения. Величина уравнивающего груза и есть опытное значения лишней опорной реакции A_0 .
7. Составить расчетную схему сил, действующих на балку.
8. Аналитическим способом рассчитать данную балку, определить теоретическое значение лишней опорной реакции A_T .
9. Построить эпюры поперечной силы и изгибающего момента для заданной балки.
10. Сравнить опытное и теоретическое значение опорной реакции, сделать выводы.

Ответить на следующие вопросы:

1. В чем заключается аналитический способ решения статически неопределимых балок
2. Физический смысл постоянных интегрирования C и D ?
3. Что мы называем упругой линией балки?
4. Каким уравнением упругая линия балки представлена?
5. Какой способ (метод) используется для решения статически неопределимых однопролетных балок?
6. На чем этот способ (метод) основан?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАКЦИИ СРЕДНЕЙ ОПОРЫ ДВУХПРОЛЕТНОЙ НЕРАЗРЕЗНОЙ БАЛКИ С КОНСОЛЬЮ

Цель работы: Определение опытным путем величины реакции промежуточной опоры двухпролетной неразрезной балки и сравнение ее с теоретическим значением, вычисленным с помощью теоремы 3-х моментов.

Оборудование и приборы

Двухпролетная неразрезная балка с консолью нагружена на консоли сосредоточенной силой F_0 , как показано на рисунке 27. Балка имеет три опоры A , C , B .

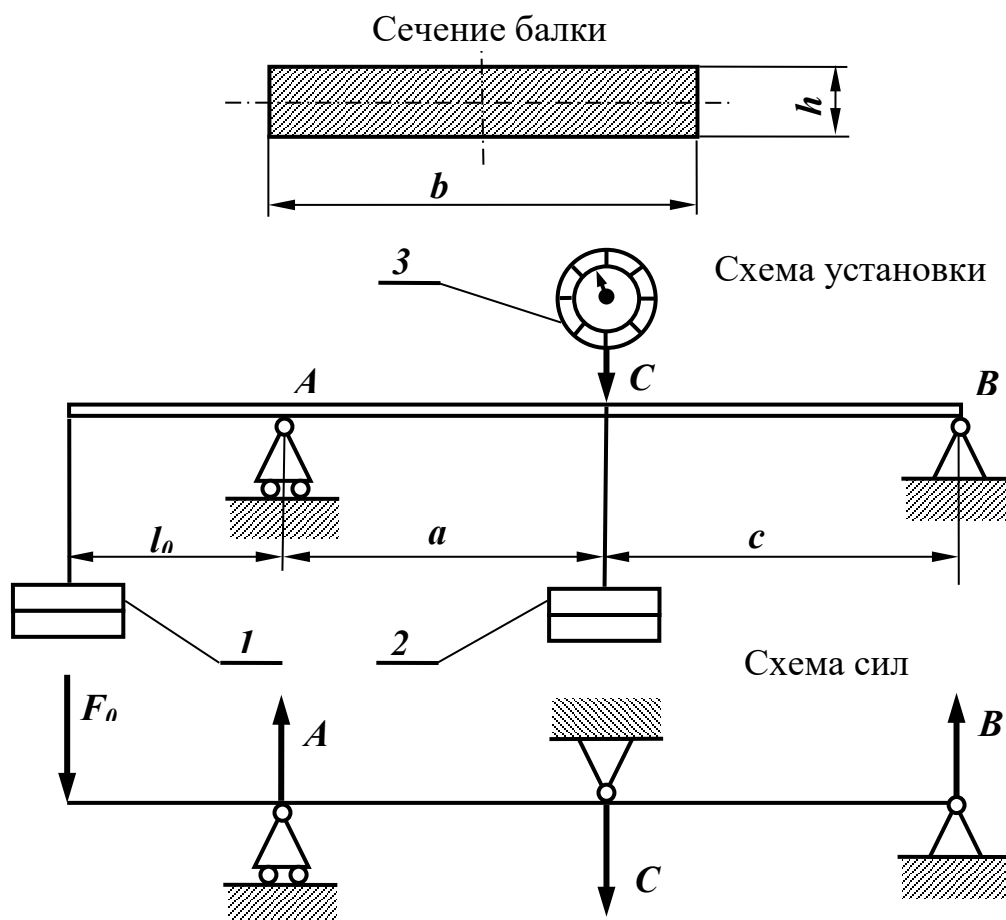


Рисунок 27 – Схема установки и схема сил, действующих на балку.

При расчете такой системы опора C обычно отбрасывается и заменяется силой C . Значение силы C подбирается затем из условия, чтобы прогиб точки C под действием силы F_0 и неизвестной силы C был равен нулю. На опыте осуществляется именно эта основная статически определимая система. Нагрузка передается балке при помощи подвески (1), установленной на консоли, на которую помещаются грузы. В пролете балки устанавливается подвеска (2) и индикатор (3). Место установки подвески (2) определяется преподавателем.

Теоретические основы

Балки, лежащие более, чем на 2-х опорах, из которых одна неподвижна, а остальные подвижны называются неразрезными балками. Такие балки являются статически неопределимыми с числом лишних неизвестных, равных общему числу опор без двух.

Для расчета неразрезных балок обычно применяют такой прием:

1. Разрезают систему на отдельные простые свободно лежащие на 2-х опорах балки.
2. В местах разреза прикладывают опорные моменты, выражающие действие каждой балки на соседнюю. Эти опорные моменты рассматриваются, как лишние неизвестные.
3. Для каждого пролета, как для самостоятельной балки на 2-х опорах, строят эпюру изгибающих моментов от внешних сил F или q .
4. Находят площади эпюр, центры и высоты площадей эпюр.
5. Считая площади эпюр за нагрузку фиктивной балки, находят фиктивные реакции для тех опор, где неизвестные опорные моменты.
6. Составляют уравнения для каждой опоры, где действует неизвестный момент по теореме 3-х моментов:

$$M_{\text{пред}} l_{\text{посл}} + 2M_{\text{дан}} (l_{\text{пред}} + l_{\text{посл}}) + M_{\text{посл}} l_{\text{пред}} = -6 R_{\text{дан}}^{\phi} .$$

Составляя такие уравнения последовательно для каждой пары пролетов, получают систему линейных уравнений для определения всех неизвестных моментов.

7. После вычисления опорных моментов задача сводится к расчету ряда однопролетных статически определимых балок, нагруженных уже известными моментами и внешней нагрузкой.

8. Реакции опор неразрезной балки определяются путем суммирования реакций отдельных пролетов, примыкающих к данной опоре.

9. Зная реакции опор и опорные моменты нетрудно построить эпюры Q и M для неразрезной балки.

Порядок выполнения работы

1. Снять размеры поперечного сечения балки, измерить длину балки и длину консоли.
2. Определить характеристики поперечного сечения балки и занести в журнал.
3. Установить подвески на консоли и в пролете балки. Установить индикатор в пролете балки.
4. Нагружать балку на консоли грузами $1, 2, 3, 4$ Н.
5. При каждом нагружении балка деформируется, показывая величину прогиба в пролете балки в единицах индикатора.
6. Так как на опоре C прогиб должен равняться нулю, то на подвеску (2) кладем уравновешивающий груз после каждого нагружения. Величина уравновешивающего груза и есть опытное значение лишней опорной реакции C_0 .
7. Составить расчетную схему сил, действующих на балку.
8. С помощью теоремы трех моментов рассчитать данную балку, определить теоретическое значение лишней опорной реакции C_T .
9. Построить эпюры поперечной силы и изгибающего момента для заданной балки.
10. Сравнить опытное и теоретическое значение опорной реакции, сделать итоговые выводы.

Ответить на следующие вопросы:

1. Какие величины входят в формулу теоремы трех моментов, охарактеризуйте их
2. Каков порядок расчета неразрезных балок?
3. Какие балки называются неразрезными?
4. Являются ли такие балки статически неопределимыми?
5. Эпюры каких силовых факторов строятся для заданной балки?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13 ИЗУЧЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПРУЖИНЫ

Цель работы: Построение силовой характеристики пружины, экспериментальное определение жесткости и деформации пружины.

Оборудование и приборы

Работа проводится на универсальном стенде, схема которого представлена на рисунке 28.

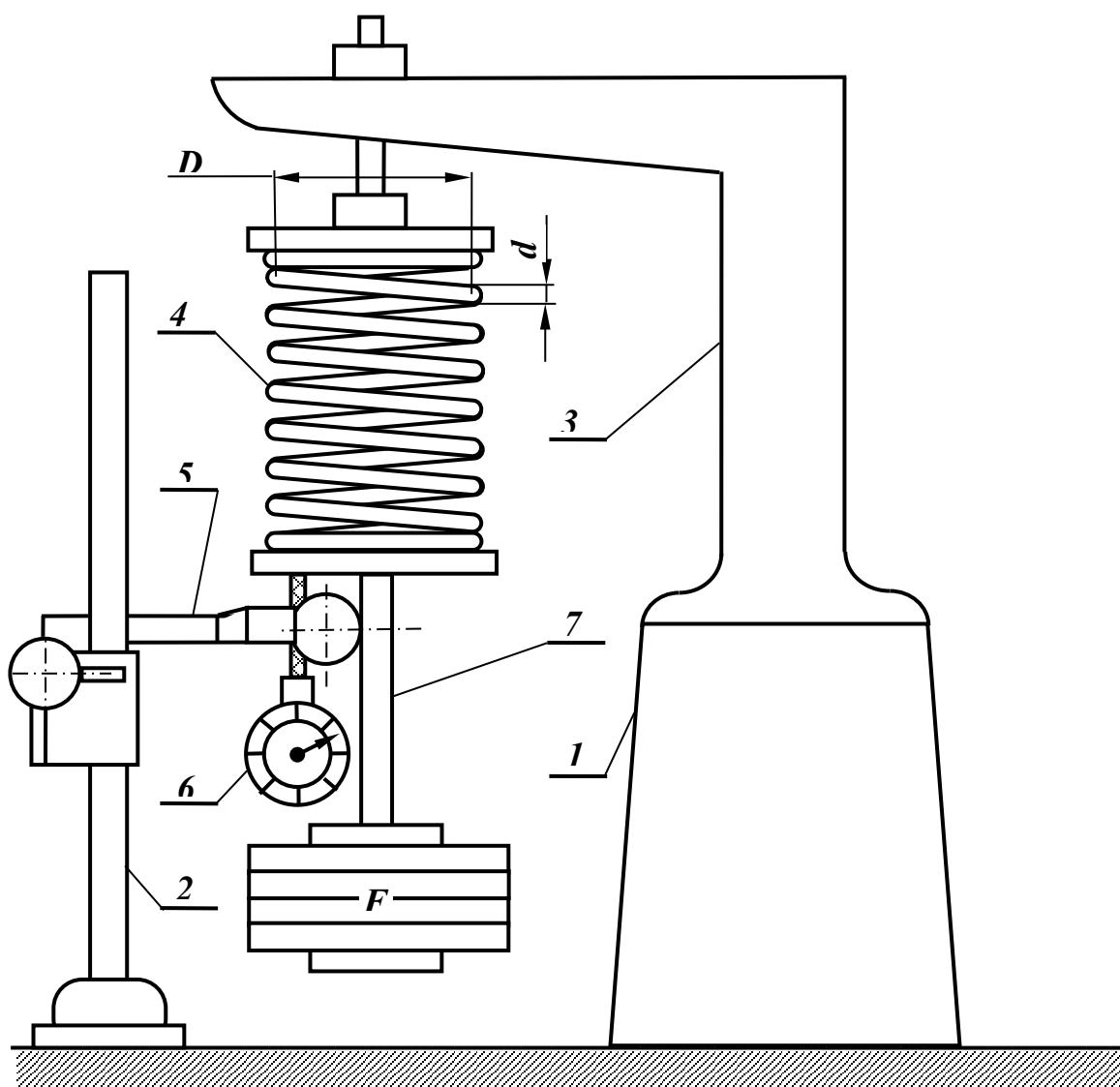


Рисунок 28 – Схема установки.

На плите устанавливаются при помощи болтовых соединений опорная стойка (1) и индикаторная стойка (2). На опорную стойку устанавливается кронштейн (3), на который навешивается пружинный

образец (4). На индикаторную стойку закрепляется держатель индикатора (5). Для исследования пружины $\varnothing 6$ мм в держателе индикатора устанавливается индикатор часового типа (6). Изменение длины пружины при ее растяжении определяется по смещению нижнего торца, к которому закреплена подвеска груза (7). Для исследования пружин $\varnothing 4$ и $\varnothing 5$ мм в держателе индикатора устанавливается указатель, а на подвеске (7) закрепляется миллиметровая шкала.

Образцы:

Пружины из проволоки – $d = 4$ мм, $d = 5$ мм и $d = 6$ мм.

Средний диаметр пружины – $D = 50$ мм.

Теоретические основы

Формула для определения деформации винтовой пружины была выведена при учете действия только крутящего момента. Влияние поперечной силы, вызывающей перемещения от взаимного сдвига сечений, не учитывалось. Не принималось во внимание при выводе формулы и влияние, как изгибающего момента, так и продольных усилий, возникающих за счет наклона витков. Гипотезы, положенные в основу теории кручения, были приняты и при выводе теоретического значения осадки (изменения высоты) винтовой пружины.

Результаты настоящего опыта могут дать нам возможность судить о влиянии сделанных в теории гипотез и упрощений на точность определения деформации пружины и о пригодности, выведенной теоретически, формулы для практических расчетов:

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

где λ – осадка пружины, мм,
 D – средний диаметр пружины, мм,
 n – число рабочих витков пружины,
 G – модуль сдвига, $G = 0,8 \cdot 10^5$ МПа,
 d – диаметр проволоки, мм.

Усилие F , при котором деформация пружины равна единице, называется жесткостью пружины и обозначается C , Н/мм:

$$C = \frac{G d^4}{8 D^3 n} \quad \text{или} \quad \lambda = \frac{F}{C}.$$

Из формул следует, что увеличение числа витков n пропорционально увеличивает деформацию пружины λ и, следовательно, уменьшает ее жесткость; увеличение диаметра прутка повышает жесткость пружины, а увеличение диаметра пружины понижает ее.

Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя данные по испытываемым пружинам, занести в журнал.

2. Нагрузить пружину грузом F_0 (при $d = 4$ мм, $F_0 = 10$ Н; при $d > 4$ мм, $F_0 = 50$ Н), при котором между витками появляются зазоры и записать отсчеты по миллиметровой шкале или индикатору. Сосчитать число рабочих витков.

3. Последовательно нагрузить пружину ступенями по 5 Н, записывая каждый раз показания измерителя перемещений (удлинение пружины L_i , соответствующее каждому уровню нагрузки).

4. Опыт закончить при $F = 60$ Н (для $d = 4$ мм), при $F = 70$ Н (для $d > 4$ мм).

5. Вычислить осадку λ (удлинение пружины, соответствующее ступени нагружения), как разность последующего и предыдущего отсчетов.

6. Вычислить среднее значение осадки данной пружины λ_{CP} .

7. Построить экспериментальную силовую характеристику пружины $F = f(\lambda)$.

8. По данным опыта подсчитать экспериментальную жесткость пружины:

$$C = \frac{F}{\lambda_{CP}} \text{ и модуля сдвига : } G = \frac{8CD^3n}{d^4}.$$

9. Подсчитать теоретические величины осадки и жесткости исследуемой пружины.

10. Сопоставить результаты эксперимента с теорией, сделать итоговые выводы.

Ответить на следующие вопросы:

1. Что такое осадка пружины ?
2. Каковы причины этого явления ?
3. Охарактеризуйте величины, входящие в формулу деформации пружины, как они влияют на изменение деформации пружины ?
4. Формула для определения деформации винтовой пружины была выведена при учете действия какого момента?
5. Что называется жесткостью пружины?
6. Какова зависимость числа витков на деформацию пружины?
7. Как влияет диаметр прутка на жесткость пружины?
8. Как влияет диаметр пружины на ее жесткость?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ ПРИ ИЗЛОМЕ ОБРАЗЦА С НАДРЕЗОМ (УДАРНАЯ ПРОБА)

Цель работы: Ознакомление с методом испытания материалов на удар при изгибе и определение механической характеристики углеродистой стали – ударной вязкости.

Оборудование и приборы

Ударную пробу на изгиб проводят на образцах с надрезом стандартной формы по ГОСТ 9455-60, общий вид которых показан на рисунке 29.

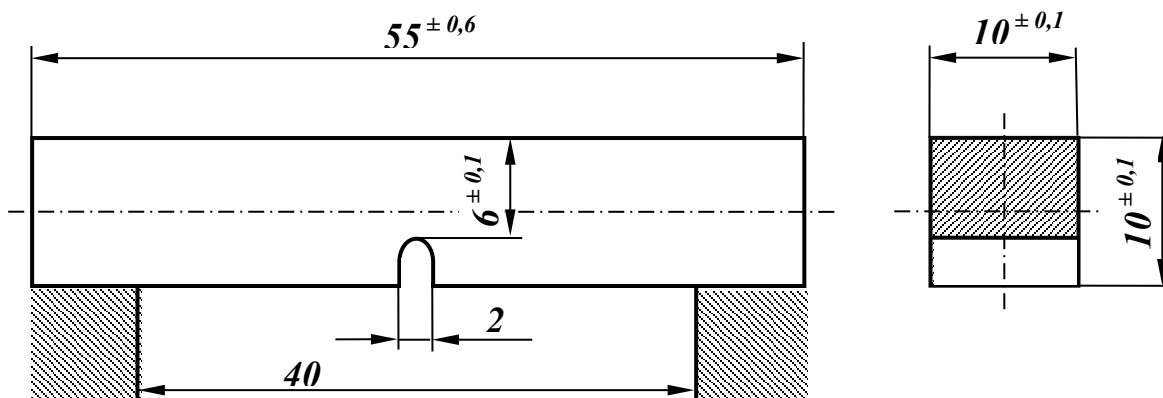


Рисунок 29 – Образец.

Надрез позволяет сосредоточить всю деформацию, поглощающую удар, в одном месте. Ударная проба производится на маятниковом копре МК-30А, схема которого представлена на рисунке 30. Маятниковый копер состоит из чугунной станины в виде фундаментной плиты с двумя вертикальными колоннами. К верхней части колонн подвешен на горизонтальной оси, укрепленной в подшипниках, тяжелый маятник в виде стального плоского диска с вырезом. В вырез маятника помещен стальной закаленный нож, служащий бойком при испытании. Перед испытанием маятник поднимают на определенную высоту H_0 и закрепляют защелкой. Освобожденный от защелки маятник падает, встречая на своем пути образец, разрушает его и пролетает дальше, поднимаясь на высоту H_2 . Затем маятник опускается вниз и начинает качаться около своего равновесного положения. Угол наибольшего взлета маятника φ_2 отмечается стрелкой, фрикционно закрепленной на оси маятника.

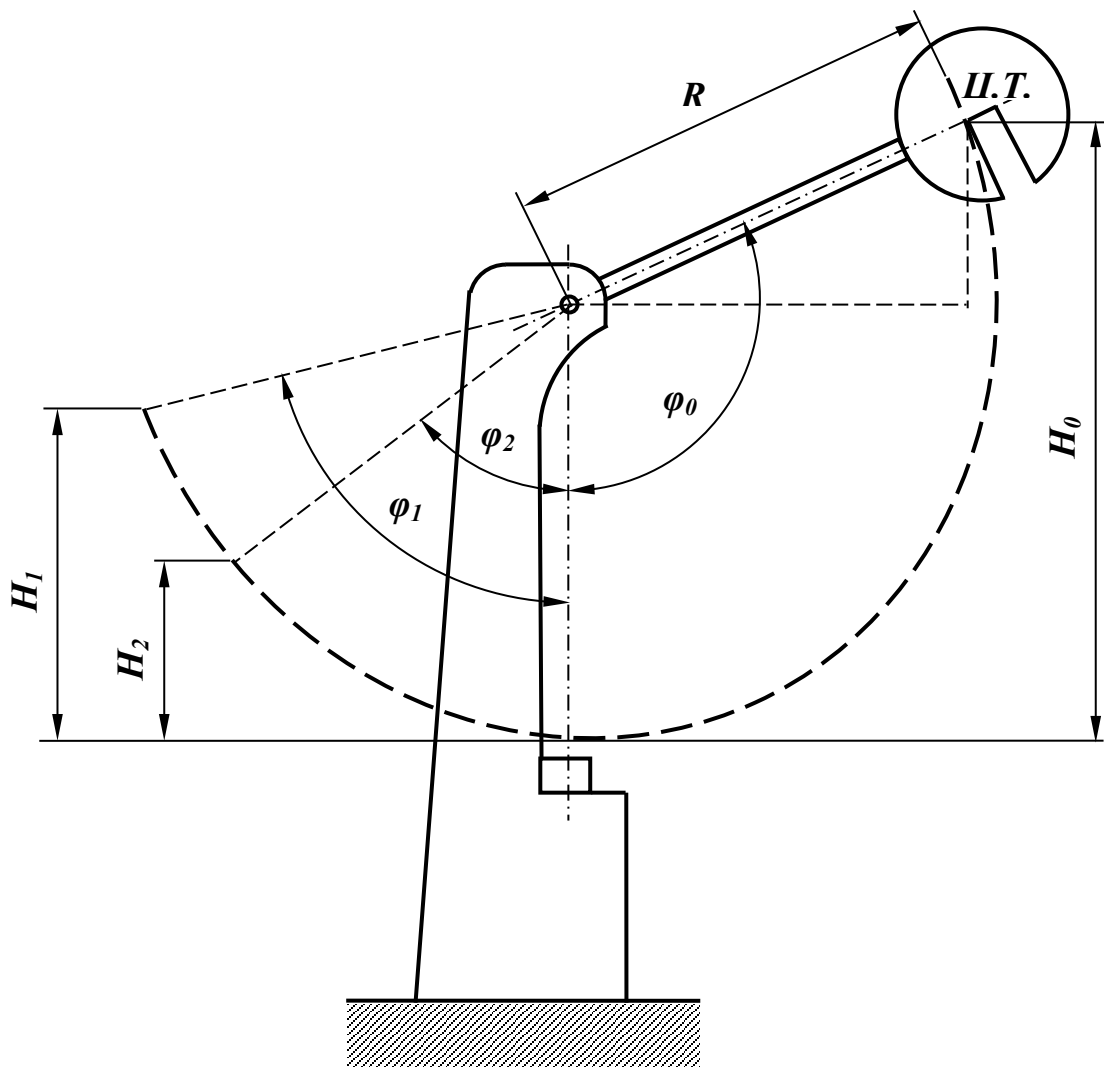


Рисунок 30 – Схема маятникового копра.

Теоретические основы

Известно, что при динамическом взаимодействии нагрузок напряжение, возникающее в образце, оказывается значительно большим, чем при статическом нагружении; кроме этого, материал иначе реагирует на динамическую нагрузку. Бывают случаи, когда, материал при статических испытаниях имеет хорошие прочностные свойства, а при ударном действии нагрузки оказывается слабым, поэтому при выборе материала для деталей, подвергающихся динамическим воздействием, производят, так называемую, ударную пробу.

Ударная проба позволяет выявить пороки металла, скрытые при других механических испытаниях (трещины от закалки, рыхлости, усадочные раковины).

За меру способности материала сопротивляться ударным нагрузкам принимают работу маятникового копра L_K , затраченную на излом образца. Отношение работы, затраченной на излом образца, к площади его поперечного сечения в месте надреза A_0 называется удельной вязкостью материала образца и обозначается a , Нм/мм²:

$$a = \frac{L_K}{A_0} .$$

Чем выше вязкость материала, тем лучше он сопротивляется ударным нагрузкам.

Величина полной работы L_3 , затраченной на излом образца, определяется как разность потенциальной энергии маятника в его положении до и после удара:

$$L_3 = Q(H_0 - H_2) ,$$

где Q – вес маятника, Н (из паспорта копра),
 H_0 – высота подъема маятника до удара, м,
 H_2 – высота взлета маятника после удара, м,
 H_1 – высота взлета маятника после свободного падения, м.

Введя соответствующие обозначения, получаем:

$$H_0 = R + R \sin(\varphi_0 - 90) = R(1 - \cos \varphi_0) ,$$

$$H_2 = R - R \cos \varphi_2 = R(1 - \cos \varphi_2) ,$$

где R – длина маятника (расстояние от центра тяжести маятника до оси его вращения), (из паспорта копра),

φ_0 и φ_2 – угол подъема маятника до и после излома образца.

Тогда работа, затраченная маятником, будет равна:

$$L_3 = QR(\cos \varphi_2 - \cos \varphi_0) .$$

Аналогично работа маятника, затраченная на преодоление вредных сопротивлений при свободном его падении, выражается следующим образом:

$$L_1 = QR(\cos \varphi_1 - \cos \varphi_0) ,$$

где φ_1 – угол подъема маятника после свободного падения.

Следовательно работа, затраченная только на разрушение образца определится:

$$L_K = L_3 - L_1 .$$

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством маятникового копра и правилами работы на нем, снять паспортные данные.

2. Определить размеры образца и проверить его соответствие ГОСТу.

3. Перед испытанием маятник следует поднять в положение, соответствующее углу $\varphi_0 = 130^\circ - 140^\circ$, закрепить его при помощи защелки, замерить первоначальную высоту H_0 . После этого надо поднять защелку, удерживающую маятник, при этом он свободно падает и отклоняется в противоположную сторону на угол φ_1 .

4. Определить работу маятника, затраченную на преодоление вредных сопротивлений при свободном его падении L_1 .

5. Далее образец помещают на опоры копра надрезом внутрь станины так, чтобы удар ножа маятника приходился со стороны, противоположной надрезу.

6. Маятник снова поднимают в начальное положение и дают ему возможность свободно падать. Падая, маятник разрушит образец и вылетит на другую сторону отвесного положения на угол φ_2 .

7. Определить работу маятника, затраченную при изломе образца L_3 .

8. Определить чистую работу, затраченную при изломе образца L_K .

9. Определить ударную вязкость испытуемого материала.

10. По таблице механических характеристик стали определить марку стали, сделать итоговые выводы.

Ответить на следующие вопросы:

1. Для чего на образце делают надрез?
2. Какую характеристику прочности определяют на маятниковом копре
3. Какую работу определяют по углу обратного взлета маятника?
4. Что называется ударной вязкостью материала?
5. Какие образцы применяются при испытаниях на ударную вязкость?
6. Как проводится определение ударной вязкости?
7. Какой принцип работы маятникового копра?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кондратова Е. В. Сопротивление материалов: учебное пособие / Е.В. Кондратова. – Москва: ИНФРА-М, 2021. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1099275>. – Режим доступа: по подписке.
2. Схиртладзе А. Г. Сопротивление материалов: учебник: В 2 ч. Ч. 1 / А.Г. Схиртладзе, А.В. Чеканин, В.В. Волков. – Москва: КУРС: ИНФРА-М, 2018. – URL: <http://znanium.com/catalog/product/933939>. – Режим доступа: по подписке.
3. Схиртладзе А. Г. Сопротивление материалов: в 2 ч. Ч. 2.: учебник / А.Г. Схиртладзе, А.В. Чеканин, В.В. Волков. – Москва: КУРС: ИНФРА-М, 2018. – URL: <http://znanium.com/catalog/product/933947>. – Режим доступа: по подписке.
4. Волосухин В.А. Сопротивление материалов: учебник / В.А. Волосухин, С.И. Евтушенко, В.Б. Логвинов. – 5-е изд. – М.: РИОР, Инфра-М, 2019. – URL: <http://znanium.com/go.php?id=1008005>. – Режим доступа: по подписке.
5. Межецкий Г. Д. Сопротивление материалов: Учебник / Г. Д. Межецкий, Г. Г. Загребин, Н. Н. Решетник; под общ. ред. Г. Д. Межецкого, Г. Г. Загребина. - 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2018. – URL: <http://znanium.com/bookread2.php?book=414836>. – Режим доступа: по подписке.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ПРОДОЛЬНОЙ УПРУГОСТИ	6
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ИЗУЧЕНИЕ ДИАГРАММЫ РАСТЯЖЕНИЯ СТАЛИ.....	12
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА ПРИ СЖАТИИ.....	17
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОПЕРЕЧНОМ СЕЧЕНИИ БАЛКИ ПРИ ИЗГИБЕ.....	22
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОГИБОВ И УГЛОВ ПОВОРОТА БАЛКИ НА ДВУХ ОПОРАХ.....	26
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОГИБОВ БАЛКИ, ЗАЩЕМЛЕННОЙ ОДНИМ КОНЦОМ	30
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7 ИЗУЧЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ КРУЧЕНИЯ СТАЛЬНОГО СТЕРЖНЯ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ.....	32
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОГИБОВ ПРИ КОСОМ ИЗГИБЕ	38
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9 ВНЕЦЕНТРЕННОЕ РАСТЯЖЕНИЕ СТЕРЖНЯ	42
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ КРИТИЧЕСКОЙ СИЛЫ ПРИ ПРОДОЛЬНОМ ИЗГИБЕ В УПРУГОЙ СТАДИИ	45
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИШНЕЙ ОПОРНОЙ РЕАКЦИИ БАЛКИ.....	49
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАКЦИИ СРЕДНЕЙ ОПОРЫ ДВУХПРОЛЕТНОЙ НЕРАЗРЕЗНОЙ БАЛКИ С КОНСОЛЬЮ..	53
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13 ИЗУЧЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПУЖИНЫ.....	56
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ ПРИ ИЗЛОМЕ ОБРАЗЦА С НАДРЕЗОМ (УДАРНАЯ ПРОБА)	59
СПИСОК ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ	63