

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Кумертауский филиал
федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»
(Кумертауский филиал ОГУ)

Кафедра *общих математических и естественнонаучных дисциплин*

О.А. Сорокина

**Методические указания
к лабораторным работам по дисциплине
«Сопротивление материалов»**

для студентов, обучающихся по программам высшего
профессионального образования по направлению
подготовки 190600 Эксплуатация транспортно-
технологических машин и комплексов

Рекомендовано к изданию
Научно-методическим советом
Кумертауского филиала ОГУ

Кумертау 2012

УДК 539.3
ББК 30.121
С65

Сорокина О.А.

С65 Методические указания к лабораторным работам / О.А. Сорокина;
Кумертауский филиал ОГУ – Кумертау: Кумертауский филиал ОГУ,
2012. – 64 с.

Методические указания предназначены для проведения лабораторных работ по дисциплине «Сопrotивление материалов» для студентов направления подготовки 190600 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов всех форм обучения.

Методические указания рассмотрены на заседании кафедры общих математических и естественнонаучных дисциплин № протокола 4, от «11» декабря 2012г.

Методические указания рекомендованы к изданию решением научно-методического совета Кумертауского филиала ОГУ, протокол № 3, от «24» января 2013г.

© Сорокина О.А. 2012
© Кумертауский филиал ОГУ, 2012

Содержание

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение..... | 4 |
| Структура, содержание и оформление лабораторных работ..... | 5 |
| Лабораторная работа №1 Определение основных механических характеристик материалов при растяжении..... | 9 |
| Лабораторная работа №2 Испытание образцов из различных материалов на сжатие..... | 16 |
| Лабораторная работа №3 Определение модуля нормальной упругости и коэффициента Пуассона для различных материалов..... | 21 |
| Лабораторная работа №4 Определение модуля сдвига..... | 26 |
| Лабораторная работа №5 Определение напряжений и перемещений при прямом поперечном изгибе..... | 29 |
| Лабораторная работа №6 Определение напряжений и перемещений в балке при косом изгибе..... | 37 |
| Лабораторная работа №7 Определение напряжений при внецентренном растяжении..... | 41 |
| Лабораторная работа №8 Определение напряжений при совместном действии кручения и изгиба..... | 44 |
| Лабораторная работа №9 Испытание стержня на устойчивость..... | 49 |
| Лабораторная работа №10 Определение ударной вязкости материалов..... | 54 |
| Лабораторная работа №11 Определение напряжений при колебании..... | 58 |
| Список использованных источников..... | 63 |
| Приложение 1..... | 64 |

Введение

Изучение курса «Сопротивление материалов» предполагает проведение цикла лабораторных работ по различным разделам дисциплины.

Лабораторные работы занимают важное место при изучении курса сопротивления материалов. При проектировании и расчетах на прочность, жесткость и устойчивость типовых элементов технических конструкций необходимо знать механические свойства материалов. Кроме того, теоретические выводы, расчетные соотношения в сопротивлении материалов во многом базируются на некоторых исходных гипотезах, на допущениях о свойствах и характере деформирования материалов в условиях различных нагрузок. Эти гипотезы и допущения нуждаются в экспериментальном обосновании, а правильность полученных на их основе теоретических расчетных зависимостей и возможность использования этих зависимостей и теоретических формул в практике инженерных расчетов могут быть подтверждены только опытным путем.

Методические указания по организации лабораторной работы по дисциплине «Сопротивление материалов» составлены в соответствии с рабочей программой и предназначены для студентов направления подготовки 190600.62 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов.

В результате освоения дисциплины *студент должен:*

знать:

- предпосылки выбора расчетной схемы, понятия геометрических характеристик сечений;
- принцип независимости действия сил;
- принцип возможных перемещений в приложении к рассматриваемым системам;
- особенности воздействия динамической нагрузки;
- теорию расчета симметрично нагруженных оболочек вращения;
- расчет тонкостенных и толстостенных труб.

уметь:

- определять физико-механические характеристики (свойства) конструкционных материалов с использованием современных испытательных машин и методов планирования экспериментов;
- проводить расчеты на прочность, жесткость и устойчивость типовых элементов конструкций, сравнивать варианты, отыскивать решения, связывать воедино инженерную постановку задачи.

владеть знаниями:

- основных понятий сопротивления материалов; методов расчета элементов конструкций на прочность и жесткость в условиях статического нагружения; расчета движущихся с ускорением элементов-конструкций; расчета удара усталости по несущей способности; основных уравнений линейной теории упругости; вариационных принципов механики деформируемого твердого тела.

Приобрести опыт деятельности:

- в определении механических характеристик материалов;
- в построении эпюр внутренних интегральных силовых факторов.

Методические указания являются дополнением к лекционному курсу по сопротивлению материалов и предназначены для самостоятельной подготовки студентов к лабораторным занятиям, а также служат руководством при проведении лабораторных работ.

СТРУКТУРА, СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Общие положения

Лабораторная работа – небольшой научный ответ, обобщающий проведенную студентом работу, которую представляют для защиты преподавателю. К лабораторным работам предъявляется ряд требований, основным из которых является полное, исчерпывающее описание всей проделанной работы, позволяющее судить о полученных результатах, степени выполнения заданий и профессиональной подготовке студентов.

В отчет по лабораторной работе должны быть включены следующие пункты:

- титульный лист;
- цель работы;
- краткие теоретические сведения;
- описание экспериментальной установки и методики эксперимента;
- экспериментальные результаты;
- анализ результатов работы;
- выводы по работе.

Требования к содержанию отдельных частей отчета по лабораторной работе

Титульный лист является первой страницей любой научной работы и для конкретного вида работы заполняется по определенным правилам. Образец титульного листа лабораторной работы приведен в приложении 1.

Цель работы должна отражать тему лабораторной работы, а также конкретные задачи, поставленные студенту на период выполнения работы. По объему цель работы в зависимости от сложности и многозадачности работы составляет от нескольких строк до 0,5 страницы.

Краткие теоретические сведения. В этом разделе излагается краткое теоретическое описание изучаемого в работе явления или процесса, приводятся также необходимые расчетные формулы. Материал раздела не должен копировать содержание методического пособия или учебника по данной теме, а ограничивается изложением основных понятий и законов, расчетных формул, таблиц, требующихся для дальнейшей обработки полученных экспериментальных

результатов. Объем литературного обзора не должен превышать 1/3 части всего отчета.

Описание экспериментальной установки и методики эксперимента. В данном разделе приводится схема экспериментальной установки с описанием ее работы и подробно излагается методика проведения эксперимента, процесс получения данных и способ их обработки. Если используются стандартные пакеты компьютерных программ для обработки экспериментальных результатов, то необходимо обосновать возможность и целесообразность их применения, а также подробности обработки данных с их помощью. Для лабораторных работ, связанных с компьютерным моделированием различных явлений и процессов, необходимо в этом разделе описать математическую модель и компьютерные программы, моделирующие данные явления.

Экспериментальные результаты. В этом разделе приводятся непосредственно результаты, полученные в ходе проведения лабораторных работ: экспериментально или в результате компьютерного моделирования определенные значения величин, графики, таблицы, диаграммы.

Анализ результатов работы. Раздел отчета должен содержать подробный анализ полученных результатов. Следует сравнить полученные результаты с известными литературными данными, обсудить их соответствие существующим теоретическим моделям. Если обнаружено несоответствие полученных результатов и теоретических расчетов или литературных данных, необходимо обсудить возможные причины этих несоответствий.

Выводы по работе. В выводах кратко излагаются результаты работы: полученные экспериментально или теоретически, их зависимости от условий эксперимента или выбранной расчетной модели, указывается их соответствие или несоответствие физическим законам и теоретическим моделям, возможные причины несоответствия.

Отчет по лабораторной работе оформляется на писчей бумаге стандартного формата *A4* на одной стороне листа, которые сшиваются в скоросшивателе. Допускается оформление отчета по лабораторной работе только в электронном виде средствами *Microsoft Office*.

Тематический план изучения дисциплины

Лабораторные работы (очная форма обучения)

Перечень лабораторных работ, выполняемых в четвертом семестре

| № занятия | № раздела | Наименование лабораторных работ | Кол-во часов |
|---------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 5 | Определение основных механических характеристик материалов при растяжении | 4 |
| 2 | 5,6 | Испытание образцов из различных материалов на сжатие | 4 |
| 3 | 5,6 | Определение модуля нормальной упругости и коэффициента Пуассона для различных материалов | 2 |
| 4 | 8 | Определение модуля сдвига | 2 |
| 5 | 10 | Определение напряжений и перемещений при прямом поперечном изгибе | 4 |
| 6 | 13 | Определение напряжений и перемещений в балке при косом изгибе | 2 |
| 7 | 13 | Определение напряжений при внецентренном растяжении | 2 |
| 8 | 13 | Определение напряжений при совместном действии кручения и изгиба | 2 |
| 9 | 14 | Определение напряжений в плоском кривом брусе большой кривизны | 4 |
| 10 | 14 | Определение напряжений в цилиндре, нагруженном внутренним давлением | 2 |
| 11 | 16 | Испытание стержня на устойчивость | 2 |
| 12 | 17 | Определение ударной вязкости материалов | 4 |
| 13 | 18 | Определение напряжений при колебании | 2 |
| <i>Итого:</i> | | | 36 |

Лабораторные работы (заочная форма обучения)

Перечень лабораторных работ, выполняемых в четвертом семестре

| № занятия | № раздела | Наименование лабораторных работ | Кол-во часов |
|---------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 5 | Определение основных механических характеристик материалов при растяжении и сжатии | 2 |
| 2 | 10 | Определение напряжений и перемещений при прямом поперечном изгибе | 2 |
| 3 | 13 | Определение напряжений при совместном действии кручения и изгиба | 4 |
| 4 | 17 | Определение ударной вязкости материалов | 2 |
| <i>Итого:</i> | | | 10 |

Лабораторные работы (заочная сокращенная форма обучения)

Перечень лабораторных работ, выполняемых во втором семестре

| № занятия | № раздела | Наименование лабораторных работ | Кол-во часов |
|---------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 5 | Определение основных механических характеристик материалов при растяжении и сжатии | 2 |
| 2 | 10 | Определение напряжений и перемещений при прямом поперечном изгибе | 2 |
| 3 | 13 | Определение напряжений при совместном действии кручения и изгиба | 2 |
| 4 | 17 | Определение ударной вязкости материалов | 2 |
| <i>Итого:</i> | | | 8 |

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

Цель работы: исследование процесса растяжения металлического образца, изучение методики проведения испытаний на растяжение и определение механических характеристик некоторых материалов.

Основные сведения

Металлы и сплавы, используемые в качестве конструкционных материалов, должны обладать определенными механическими свойствами – прочностью, упругостью, пластичностью, твердостью.

Прочность – способность элементов конструкции выдерживать, определенную нагрузку, не разрушаясь.

Изменение размеров и формы элементов конструкции при действии на них внешних сил называется *деформацией*.

Деформации разделяются на упругие и пластические (остаточные). *Упругими деформациями* называют такие изменения размеров и формы, которые исчезают после удаления внешних сил. Способность материала получать упругие деформации (т.е. восстанавливать первоначальные размеры и форму после удаления нагрузки) называется *упругостью*.

Деформация, не исчезающая после снятия внешней нагрузки, называется *пластической или остаточной*. Способность материала воспринимать пластическую деформацию без разрушения называется *пластичностью*.

Твердость – это способность материала сопротивляться пластической деформации.

Испытания на растяжение являются основным и наиболее распространенным методом лабораторного исследования и контроля механических свойств материалов.

Определяются главные механические характеристики на образцах, взятых из зоны разрушения конструкции. Из испытываемого материала изготавливают специальные образцы, которые большей частью делают цилиндрическими из прутковых заготовок или плоскими из листового материала (рис. 1.1).

Между расчетной длиной образца l_0 и размерами поперечного сечения A_0 (или d_0 для круглых образцов) выдерживается определенное соотношение:

– у длинных образцов:

$$l_0 \geq 11,3\sqrt{A_0} \quad (\text{или } l_0 \geq 10d_0);$$

– коротких образцов:

$$l_0 \geq 5,65\sqrt{A_0} \quad (\text{или } l_0 \geq 5d_0).$$

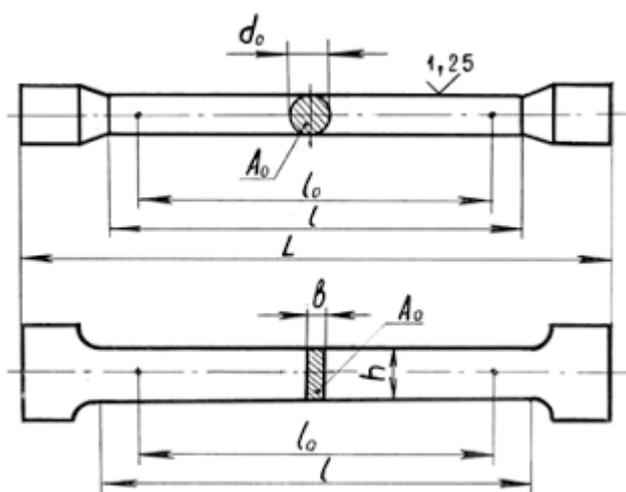


Рисунок 1.1– Образцы для испытания на растяжение

В испытательных машинах усилие создается либо вручную – механическим приводом, либо гидравлическим приводом, что присуще машинам с большей мощностью.

Испытание на растяжение можно проводить на любой разрывной машине подходящей мощности, имеющей устройство с автоматической записью диаграммы растяжения. В данной работе используется учебная универсальная испытательная машина, представленная на рис. 1.2.

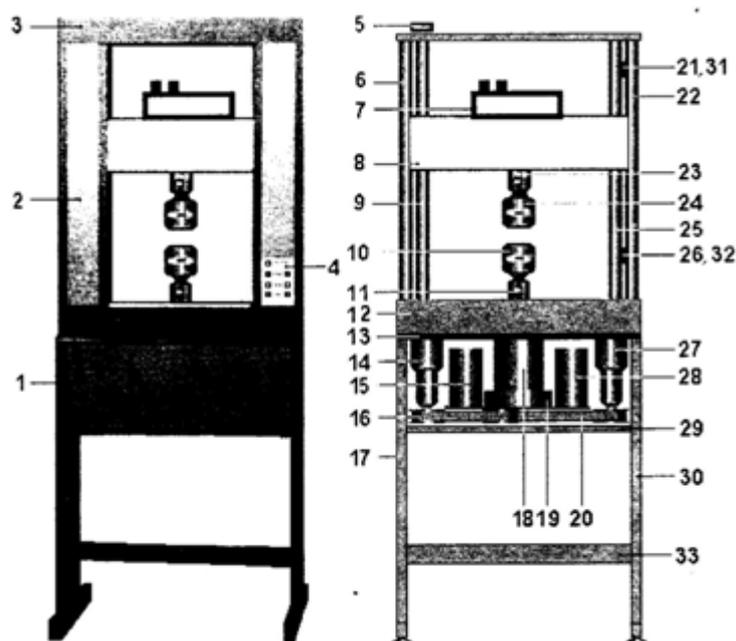


Рисунок 1.2 – Учебная универсальная испытательная машина

Данная машина предназначена для лабораторного практикума по курсу «Сопротивление материалов», и позволяет проводить испытания на растяжение-сжатие, кручение, а также на совместное действие указанных деформаций. Представляет собой устройство замкнутого типа с подвижной траверсой и нижней рабочей зоной. Максимальное развиваемое усилие машины – 40 кН.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Образец, устанавливаемый в захватах машины, после включения насоса, создающего давление в рабочем цилиндре, медленно нагружается силой F , изменяющейся от нуля до значения, при котором образец разрушается. Испытательная машина снабжена устройством для автоматической записи диаграммы растяжения в координатах: продольная растягивающая сила F – абсолютное удлинение рабочей части образца Δl .

В качестве примера на рис. 1.3 показана диаграмма растяжения малоуглеродистой стали с обозначением характерных для нее точек.

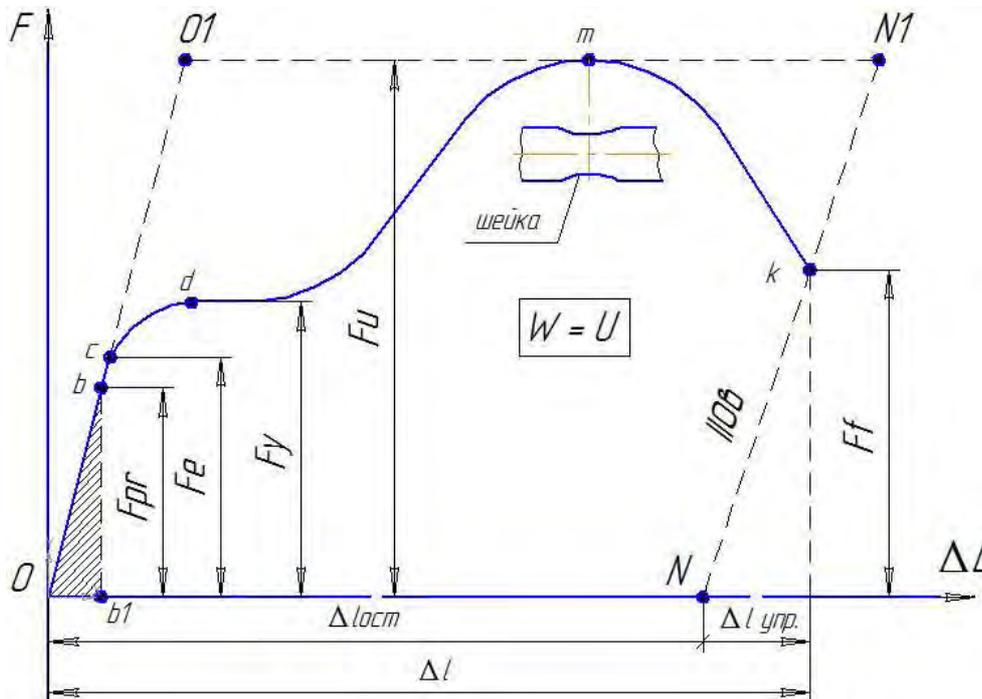


Рисунок 1.3

Для определения механических характеристик материала необходимо исключить влияние абсолютных размеров образца. Поэтому диаграмму растяжения, показанную на рис. 1.3, перестраивают в относительных координатах: нормальное напряжение σ – относительная деформация ε (рис. 1.4):

$$\sigma = \frac{F}{A_0}; \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0},$$

где A_0 и l_0 – начальные площадь поперечного сечения и длины рабочей части образца (рис. 1.1).

Учитывая то, что A_0 и l_0 – постоянные величины, можно отметить, что два указанных вида диаграмм растяжения ($F - \Delta l$ и $\sigma - \varepsilon$) отличаются между собой только масштабом (см. рис. 1.3 и 1.4).

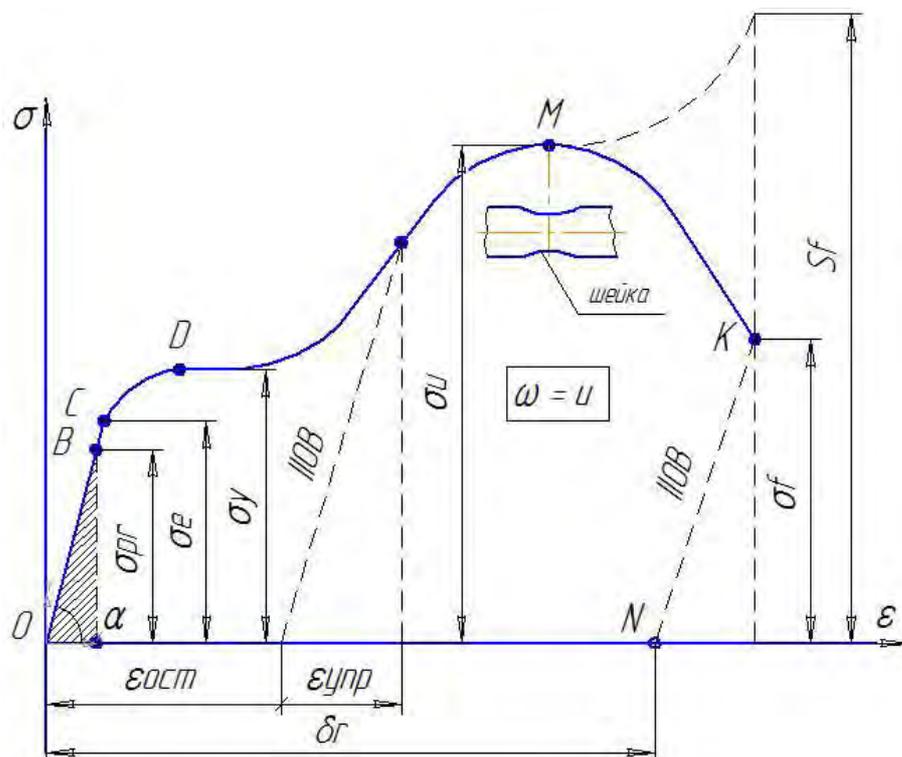


Рисунок 1.4

В самом начале испытания на растяжение, растягивающая сила F , а следовательно, и деформация Δl стержня равны нулю, поэтому диаграмма начинается из точки пересечения соответствующих осей (точка O).

Ординаты диаграммы растяжения в координатах $\sigma - \varepsilon$ характеризуют прочностные свойства исследуемого материала. Рассмотрим характерные участки и точки диаграммы.

Вначале на участке OB диаграмма представляет собой наклонную прямую. Это означает, что напряжения σ растут пропорционально деформациям ε , т.е. соблюдается закон Гука $\sigma = E\varepsilon$, который справедлив до точки B , соответствующей пределу пропорциональности:

$$\sigma_{pr} = \frac{F_{pr}}{A_0}.$$

Пределом пропорциональности σ_{pr} называется наибольшее напряжение, до которого выполняется закон Гука (для стали Ст. 3 $\sigma_{pr} \approx 210$ МПа).

Выше точки B диаграмма искривляется, и закон Гука нарушается. Точке C на диаграмме соответствует предел упругости σ_e , при достижении которого в образце появляются остаточные деформации:

$$\sigma_e = \frac{F_e}{A_0}.$$

Пределом упругости σ_e называется такое напряжение, при котором в материале получается остаточная деформация, равная заданной малой величине (обычно 0,05%).

Предел упругости σ_e очень близок к пределу пропорциональности σ_{pr} , поэтому часто считают, что они совпадают: $\sigma_e \approx \sigma_{pr}$.

При достижении точки D наблюдается переход диаграммы к горизонтальному участку, который называется **площадкой текучести**. Ей соответствует предел текучести σ_y :

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_0}.$$

Пределом текучести σ_y называется напряжение, при котором деформации растут без увеличения нагрузки, т.е. при постоянном растягивающем усилии (для стали Ст. 3 $\sigma_y \approx 240$ МПа).

В этом случае говорят, что материал «течет». На поверхности образца в это время появляется густая сетка линий, направленных под углом 45° к оси образца. Эти линии называют линиями Чернова, а возникают они вследствие сдвига кристаллов по плоскостям, в которых действуют наибольшие касательные напряжения (т.е. под углом 45° к оси). В результате этих сдвигов образец получает остаточные деформации.

Некоторые материалы, например, легированные стали не имеют явно выраженной площадки текучести. Для них определяют **условный предел текучести** $\sigma_{0,2}$ – то напряжение, при котором остаточная деформация равна $\varepsilon_{ост} = 0,2\%$.

После стадии текучести материал упрочняется и снова начинает оказывать сопротивление деформации. Дальнейший рост деформации сопровождается возрастанием нагрузки до максимального значения (участок DM). Наивысшей точке M диаграммы соответствует предел прочности σ_u :

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

Пределом прочности σ_u или **временным сопротивлением** называется напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, которую может выдержать образец (для стали Ст. 3 $\sigma_u \approx 400$ МПа).

До достижения предела прочности продольные и поперечные деформации образца равномерно распределяются по его расчетной длине. Но после достижения предела прочности деформации концентрируются в одном наиболее слабом месте, где начинает образовываться **шейка** – местное сужение поперечного сечения (рис. 1.3 и рис. 1.4). В связи с уменьшением сечения нагрузка перед разрывом образца уменьшается. Разрыву соответствует сила F_f (рис. 1.3) и напряжение в момент разрыва σ_f (рис. 1.4):

$$\sigma_f = \frac{F_f}{A_0}.$$

Наиболее важными прочностными характеристиками материала являются **предел текучести σ_y** и **предел прочности σ_u** .

На рис. 1.5 представлен образец материала после испытаний на растяжении.



Рисунок 1.5

После испытания образца на растяжение можно определить **характеристики пластичности** материала: **относительное остаточное удлинение δ_r** и **относительное остаточное сужение ψ_r** .

$$\delta_r = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100\%,$$

где l_k – длина рабочей части образца после разрыва.

Если $\delta_r > 5\%$, то материал пластичный (малоуглеродистая сталь, свинец, медь и др.). Если $\delta_r < 5\%$, то материал хрупкий (закаленная сталь, чугун, бетон и др.).

$$\psi_r = \frac{A_0 - A_{us}}{A_0} \cdot 100\%.$$

Например, для стали Ст. 3 $\psi_r \approx 60...70\%$.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Основные данные испытательной машины (тип, пределы измерений, цена деления шкалы, скорость нагружения).
3. Эскизы образцов с указанием марки материала и первоначальных размеров.
4. Эскизы диаграмм растяжения с указанием характерных точек согласно ГОСТ 1497-84 и величин нагрузок.
5. Эскизы образцов после испытаний с указанием основных размеров.
6. Расчет механических характеристик испытанных материалов в соответствии с ГОСТ 1497-84.
7. Описание характера разрушения и упругопластических свойств испытанного материала.
8. Вывод.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем состоит отличие физического предела текучести от условного?
2. Поясните процесс упрочнения материала.
3. Перечислите механические характеристики, определяемые в результате испытаний материала на растяжение. Укажите характеристики прочности и пластичности.
4. Дайте определение предела пропорциональности, предела упругости, предела текучести, предела прочности
5. Какие деформации называются упругими, какие остаточными? Укажите их на полученной в лабораторной работе диаграмме растяжения стали.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИСПЫТАНИЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СЖАТИЕ

Цель работы: изучение свойств и характера разрушения различных материалов при сжатии.

Основные сведения

Испытания на сжатие выполняются реже, чем испытания на растяжения, так как они не позволяют определить все механические характеристики материала, например, предел прочности σ_u для пластичных материалов, поскольку при их сжатии образцы расплющиваются и принимают форму диска. Поэтому испытанию на сжатие в основном подвергаются хрупкие материалы, которые лучше сопротивляются деформации сжатия по сравнению с деформацией растяжения (чугун, строительные материалы: бетон, камень, кирпич и др.).

Испытания материалов на сжатие проводят на специальных прессах или универсальных испытательных машинах по специальным методикам: для стали и чугуна используется ГОСТ 25.503-80, бетона – ГОСТ 10.180-90, древесины поперек волокон ГОСТ 16483.11-72, древесины вдоль волокон ГОСТ 16483.10-73. Схема нагружения образца при сжатии показана на рис. 2.1.

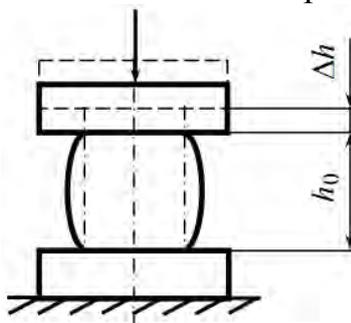


Рисунок 2.1

Образцы материалов для испытания на сжатие изготавливаются в виде цилиндров высотой h и диаметром d . Для чугуна, например, рекомендуется диаметр от 10 до 25 мм. Отношение h/d должно быть в пределах от 1 до 2. При значении $h/d > 2$ сказывается влияние продольного изгиба. При значении $h/d < 1$ в большей степени сказывается влияние сил трения, возникающих между торцами образца и опорными плитами машины.

Силы трения тормозят развитие деформации у торцов образца, чем и объясняется его бочкообразная форма в результате испытаний. Условия трения в опорных торцах образцов заметно влияют на предел прочности и характеристики пластичности. Одним из способов уменьшения сил трения является шлифование и смазывание торцов образца графитом, графитовой смазкой или парафином.

Образцы из искусственного камня (цементного или иного раствора) изготавливаются в виде кубиков или цилиндров.

Деревянные образцы изготавливают в виде прямоугольной призмы с основанием 20 x 20 мм и высотой вдоль волокон 30 мм или кубиков со стороной 20 мм и более.

Пластичные материалы (мягкая сталь, медь и др.) одинаково хорошо работают на растяжение и сжатие, поэтому испытание на сжатие является дополнением к испытанию этих материалов на растяжение.

Для пластичных материалов модуль упругости E , предел упругости σ_e и предел текучести σ_y при сжатии примерно те же, что и при растяжении.

Диаграмма сжатия малоуглеродистой стали показана на рис. 2.2 кривая 1. Из диаграммы видно, что сила постоянно возрастает, при этом величину напряжений, соответствующих разрушающей силе, определить невозможно, так как образец не разрушается, а превращается в диск (рис. 2.3 а). На этом испытание прекращают, так как образец разрушить не удастся. Понятие «предел прочности» при сжатии стали не существует.

Диаграмма сжатия чугуна показана на рис. 2.2 кривая 2, из которой видно, что закон Гука выполняется лишь приближенно в начальной стадии нагружения. Верхняя точка диаграммы соответствует разрушающей нагрузке F_{\max} , определив которую, вычисляют предел прочности материала на сжатие:

$$\sigma_u^{сжс} = \frac{F_{\max}}{A}$$

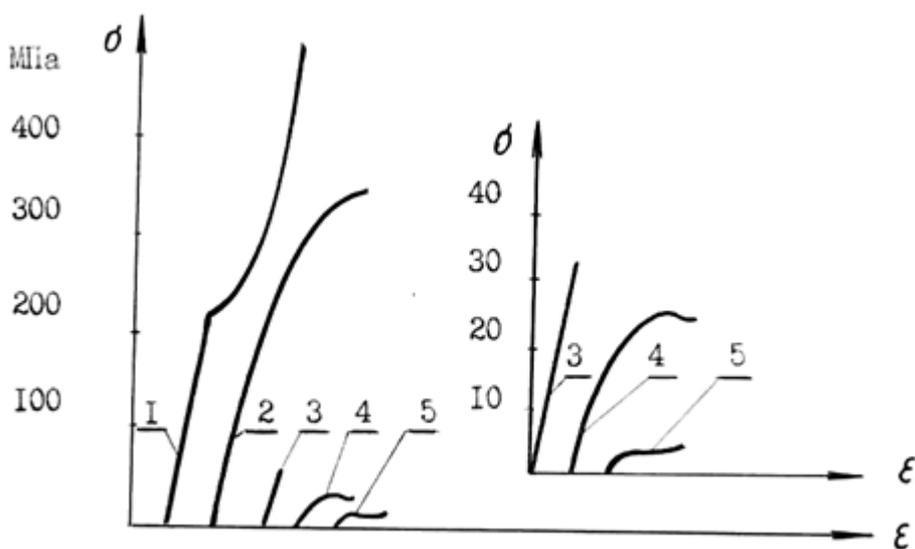


Рисунок 2.2 – Диаграммы сжатия:

1 – малоуглеродистой стали; 2 – чугуна; 3 – бетона;
4 – сосны вдоль волокон; 5 – сосны поперек волокон

Разрушение чугунного образца происходит внезапно при незначительных остаточных деформациях. Разрушению предшествует образование трещин, расположенных приблизительно под углом 45° к образующим боковой поверхности образца, т.е. по линиям действия максимальных касательных напряжений (рис. 2.3 б).

Причиной разрушения является действие максимальных касательных напряжений, вызывающих деформации сдвига по наклонным площадкам.

Диаграмма сжатия бетона показана на рис. 2.2 **кривая 3**. Из диаграммы видно, что рост нагрузки сопровождается упругими деформациями вплоть до разрушения, что вообще характерно для хрупких материалов.

Характер разрушения образцов из бетона (цементного раствора, камня) показан на рис. 2.3 в – при наличии сил трения между плитами машины и торцами образца. Разрушение происходит путем выкрашивания материала у боковых поверхностей в средней части образца. Трещины образуются под углом 45° к линии действия нагрузки.

При снижении сил трения за счет нанесения слоя парафина на опорные поверхности образца разрушение происходит в виде продольных трещин, материал расслаивается по линиям, параллельным действию сжимающей силы, и сопротивление материала уменьшается (рис. 2.3 г).

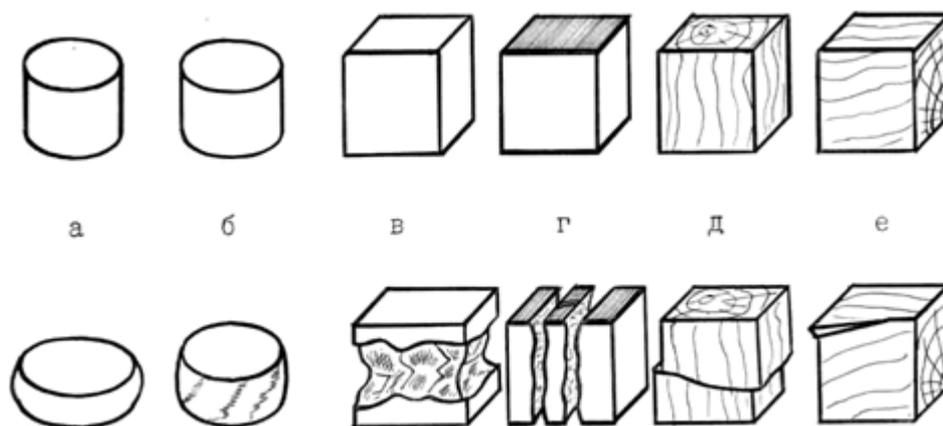


Рисунок 2.3 – Вид образцов из различных материалов до и после испытания на сжатие: а – малоуглеродистая сталь; б – чугун; в – цементный раствор без смазки торцов; г – цементный раствор со смазкой торцов; д – дерево вдоль волокон; е – дерево поперек волокон

Особым своеобразием отличается сопротивление сжатию древесины как материала анизотропного и обладающего волокнистой структурой. При сжатии, как и при растяжении, древесина обладает различной прочностью в зависимости от направления сжимающей силы по отношению к направлению волокон.

Диаграмма сжатия древесины вдоль волокон показана на рис. 2.2 **кривая 4**.

Диаграмма сжатия древесины поперек волокон показана на рис. 2.2 **кривая 5**.

При сжатии вдоль волокон древесина значительно (в 8-10 раз) прочнее, чем при сжатии поперек волокон. При сжатии вдоль волокон образец разрушается из-за растрескивания и сдвига одной части относительно другой (рис. 2.3 д), а при сжатии поперек волокон древесина склонна к прессованию и не всегда удается определить момент начала разрушения (рис. 2.3 е).

Предел прочности при сжатии для хрупких материалов всегда больше, чем при растяжении. Существуют материалы (дерево, стеклопластики), у которых прочность при сжатии меньше, чем при растяжении. При испытании дерева поперек волокон прочность резко снижается.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Предложенные для испытания образцы замеряют и, поочередно устанавливая их между опорными плитами испытательной машины, подвергают статическим нагрузкам, в процессе которых на диаграммном аппарате производится запись диаграмм сжатия соответствующих материалов. По контрольной стрелке шкалы силоизмерителя фиксируются максимальные нагрузки для каждого из образцов.

По полученным диаграммам сжатия определяют максимальную нагрузку сжатия стального образца и разрушающие нагрузки для других образцов, корректируя их значения с показателями стрелки силоизмерителя, записывают показания в журнал испытаний. Далее определяют характерные значения напряжений и производят записи в журнал испытаний.

Необходимо сделать зарисовку разрушенных образцов и описать характер их разрушения. Дать сравнительную характеристику работы испытанных материалов.

Характеристики прочности некоторых материалов при растяжении и сжатии приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

| Марка материала | Предел прочности $\sigma_{пч}$, МПа | | Предел текучести $\sigma_{т}$, МПа |
|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------|-------------------------------------|
| | при растяжении | при сжатии | |
| Сталь 10 | 340 | – | 210 |
| Сталь 30 | 500 | – | 300 |
| Сталь 20 Г | 460 | – | 280 |
| Чугун СЧ 28 | 280 | 1000 | – |
| Дюралюминевый сплав Д 16 твердый | 460 | – | 350 |
| Дерево (сосна): | | | |
| - вдоль волокон | 80 | 40 | – |
| - поперек волокон | – | – | 5 |
| Бетон | 0,14 – 2,5 | 0,95 – 43,0 | – |
| Кирпич | 0,7 – 3,0 | 7,5 – 100,0 | – |

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Основные данные испытательной машины (тип, пределы измерений, цена деления шкалы, скорость нагружения).
3. Эскизы образцов с указанием марки материала и первоначальных размеров.
4. Эскизы диаграмм сжатия для образцов.
5. Расчет механических характеристик испытанных материалов.
6. Вывод.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой вид имеет диаграмма сжатия стали? В чем отличие этой диаграммы от диаграммы растяжения?
2. Какие механические характеристики можно определить по диаграмме сжатия стали?
3. Каков вид диаграммы сжатия чугуна, бетона? Каков характер разрушения образцов из этих материалов?
4. Какие механические характеристики определяют для хрупких материалов при их испытании на сжатие?
5. Какой вид имеет диаграмма сжатия дерева вдоль волокон и какие механические характеристики можно определить по ней?
6. Как разрушается дерево при сжатии вдоль и поперек волокон? В каком направлении дерево обладает лучшими механическими свойствами?
7. Какие характеристики материала можно получить при испытании на сжатие малоуглеродистой стали, чугуна, бетона, дерева?
8. Почему образцы из малоуглеродистой стали и из чугуна при сжатии приобретают бочкообразную форму? Почему это явление не наблюдается у бетонных образцов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ НОРМАЛЬНОЙ УПРУГОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: определение модуля нормальной упругости E и коэффициента Пуассона ν при растяжении стального стержня.

Основные сведения

Все твердые тела под действием приложенных к ним внешних сил в той или иной степени деформируются, т.е. изменяют свои размеры и форму. Изменение линейных размеров тела называется *линейной деформацией*: при этом увеличение размеров тела называется *удлинением*, а уменьшение – *укорочением*.

Деформации, исчезающие после разгрузки тела, называются *упругими*, а свойство тел деформироваться под нагрузкой и восстанавливать свои первоначальные размеры и форму после снятия нагрузки – *упругостью*.

Упругость характеризуется двумя независимыми величинами: **модулем нормальной упругости E** и **коэффициентом Пуассона ν** . Эти характеристики определяются экспериментально при растяжении образца материала. Растяжение образца вызывается силами, действующими вдоль его оси (рис. 3.1).

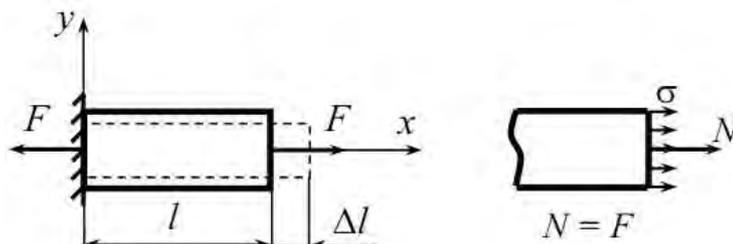


Рисунок 3.1 – Растяжение образца

При этом в поперечном сечении образца возникают только нормальные напряжения σ , определяемые по формуле:

$$\sigma = \frac{N}{A},$$

где N – продольная сила; A – площадь поперечного сечения.

Отношение абсолютного удлинения стержня к его первоначальной длине называется **относительным удлинением** или **относительной продольной деформацией**:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l},$$

где Δl – абсолютное удлинение; l – первоначальная длина образца.

Для многих материалов до определенных пределов нагружения существует зависимость между напряжениями и деформациями. Для центрального растяжения (сжатия) она имеет вид:

$$\sigma = E\varepsilon.$$

Это соотношение носит название закона Гука (Роберт Гук, 1635г.-1703г., Англия). Здесь E – коэффициент пропорциональности, зависящий от свойств материала и называемый *модулем нормальной упругости* или *модулем упругости 1-го рода; модулем Юнга* (Тома Юнг, 1773г.-1829г., Англия).

Модуль нормальной упругости E – физическая постоянная материала, характеризующая его жесткость, определяется опытным путем, имеет напряжение и выражается в Па, МПа ($1\text{МПа} = 10^6 \text{Па}$).

При растяжении одновременно наблюдается как относительная продольная деформация (относительное удлинение) ε , так и относительная поперечная деформация (относительное укорочение) ε' .

Учитывая, что продольная и поперечная деформации всегда имеют противоположные знаки, получаем:

$$\varepsilon' = -\nu \cdot \varepsilon \text{ или } \nu = -\frac{\varepsilon'}{\varepsilon} = \frac{|\varepsilon'|}{|\varepsilon|},$$

где ν – коэффициент Пуассона (Симеон Денни Пуассон, 1781г.-1840г., Франция). Определяется опытным путем, для различных материалов коэффициент лежит в пределах $0 \leq \nu \leq 0,5$.

Значения модуля нормальной упругости E для наиболее распространенных материалов и коэффициента Пуассона ν приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

| Материал | E , ГПа* | μ |
|----------------------------------------|------------|-------------|
| Чугун серый, белый | 115 – 160 | 0,23 – 0,27 |
| Стали углеродистые | 200 – 210 | 0,24 – 0,28 |
| Стали легированные | 210 – 220 | 0,25 – 0,30 |
| Алюминий катанный | 70 | 0,3 |
| Стекло | 56 | 0,25 |
| Бетон | 4 – 40 | 0,2 |
| Кирпичная кладка | 0,1 – 7,8 | 0,25 |
| Древесина (сосна, ель) при растяжении: | | |
| - вдоль волокон | 10 – 12 | - |
| - поперек волокон | 0,5 – 1,0 | - |
| Резина | 0,007 | 0,5 |

* 1 ГПа = 10^3 МПа.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для испытания берут образец – стержень прямоугольного сечения с захватами в верхней части (рис. 3.2). Площадь поперечного сечения рабочей части стержня равна $A = b \cdot h$.

Из выражения $\sigma = E\varepsilon$ с учетом $\sigma = \frac{N}{A}$ и $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$, а также того, что

$$N = F \text{ (см. рис. 3.1), получим: } E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F l}{A \Delta l}.$$

Очевидно, что для нахождения величины E необходимо найти величину абсолютного удлинения Δl . Для экспериментального нахождения Δl используется тензометр рычажный механический, предназначенный для измерения малых линейных деформаций.

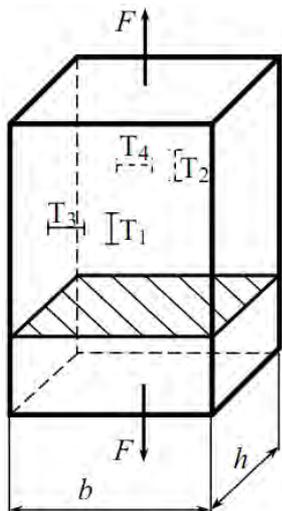


Рисунок 3.2

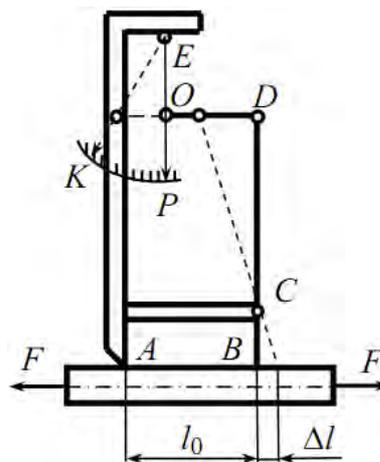


Рисунок 3.3 – Схема рычажного тензометра

Схема тензометра такого типа показана на рис. 3.3.

Расстояние между неподвижным ножом A и подвижной призмой B называется базой тензометра l_0 и равно 20 мм . При изменении длины волокна, на которое установлен тензометр, подвижная призма перемещается на длину Δl . Системой рычагов перемещение Δl увеличивается и наблюдается на градуированной в миллиметрах шкале в виде отрезка KP .

$$\text{Увеличение тензометра равно: } K = \frac{CD}{CB} \frac{EP}{EO} = 1000.$$

Таким образом, показания тензометра в 1 мм соответствуют перемещению призмы B : $\Delta l = 0,001 \text{ мм} = 1 \text{ мкм}$. На образце устанавливают четыре тензометра на противоположных плоскостях: два – вдоль оси образца T_1 и T_2 ; два – поперек оси образца T_3 и T_4 (см. рис. 3.2). Наличие тензометров на параллельных плоскостях позволяет исключить влияние неизбежной внецентренной нагрузки.

Эксперимент повторяют несколько раз (с одной установки), каждый раз увеличивая силу на одну и ту же величину ΔF (приращение силы). В каждом случае нагружения имеем приращения показаний тензометров T_1, T_2, T_3, T_4 , соответствующие приращению силы. За равномерностью изменения приращений показаний тензометров необходимо следить во время опыта.

Средние значения показаний продольных ΔT_{cp} и поперечных $\Delta T_{cp\perp}$ тензометров равны:

$$\Delta T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n (\Delta T_{1i} + \Delta T_{2i})}{2n}, \text{ или } \Delta T_{cp} = \frac{\Delta T_{1cp} + \Delta T_{2cp}}{2};$$

$$\Delta T_{cp\perp} = \frac{\sum_{i=1}^n (|\Delta T_{3i}| + |\Delta T_{4i}|)}{2n}, \text{ или } \Delta T_{cp\perp} = \frac{\Delta T_{3cp} + \Delta T_{4cp}}{2},$$

где n – число шагов нагружения; ΔT_i – приращение показания соответствующего тензометра на i -м шаге нагружения; ΔT_{1cp} , ΔT_{2cp} , ΔT_{3cp} , ΔT_{4cp} – среднеарифметические значения приращений показаний тензометров.

Искомое удлинение находим по формуле: $\Delta l = \frac{\Delta T_{cp}}{K} = \frac{\Delta T_{cp}}{1000}$.

Тогда модуль нормальной упругости находим по формуле $E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F l}{A \Delta l}$ с

учетом выражения $\Delta l = \frac{\Delta T_{cp}}{K} = \frac{\Delta T_{cp}}{1000}$:

$$E_{\text{эксп}} = \frac{Fl}{A\Delta l} = \frac{\Delta Fl_0 \cdot 1000}{A\Delta T_{cp}},$$

где ΔF – постоянное приращение внешней силы на i -м шаге нагружения; $l_0 = 20\text{мм}$ – база тензометра; ΔT_{cp} – среднее значение показаний тензометров в продольном направлении.

При определении модуля нормальной упругости по формуле $E_{\text{эксп}} = \frac{Fl}{A\Delta l} = \frac{\Delta Fl_0 \cdot 1000}{A\Delta T_{cp}}$, необходимо пользоваться системой единиц СИ, при

этом учитывая соотношения: $1 \text{ кгс} = 9,8 \text{ Н}$; $1 \text{ мм}^2 = 10^{-6} \text{ м}^2$. Величина E тогда выразится в Па (МПа).

Для нахождения коэффициента Пуассона по формуле $\sigma = E\varepsilon$, необходимо вычислить продольную и поперечную деформации:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{\Delta T_{cp}}{1000l_0}; \quad \varepsilon' = \frac{\Delta l_{\perp}}{l_0} = \frac{\Delta T_{cp\perp}}{1000l_0}.$$

Окончательно коэффициент Пуассона определяется по формуле:

$$\nu_{\text{эксп}} = \left| \frac{-\Delta T_{cp\perp}}{\Delta T_{cp}} \right|.$$

Оценку погрешности полученных результатов находим следующим образом:

$$\Delta E = \frac{E_{\text{табл}} - E_{\text{эксп}}}{E_{\text{табл}}} \cdot 100\% \quad \text{и} \quad \Delta \nu = \frac{\nu_{\text{табл}} - \nu_{\text{эксп}}}{\nu_{\text{табл}}} \cdot 100\%,$$

где $E_{\text{табл}} = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$; $\nu_{\text{табл}} = 0,28$.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Схема образца с указанием необходимых для расчета размеров и мест установки тензометров.
3. Схема тензометра и его основные характеристики.
4. Таблица экспериментальных данных.
5. Расчет упругих характеристик стали и сравнение их с табличными значениями.
6. Вывод.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как формулируется закон Гука для линейного напряженного состояния?
2. Что характеризует модуль упругости E , от чего он зависит и какова его размерность?
3. По какому геометрическому выражению с использованием диаграммы напряжений можно определить E ?
4. Почему при определении деформаций растянутого образца используют два тензометра?
5. Какая величина называется коэффициентом Пуассона?
6. Как экспериментально определить коэффициент Пуассона?
7. Почему при определении продольных и поперечных деформаций используют по два тензометра?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ СДВИГА

Цель работы: целью данной работы является экспериментальная проверка закона Гука и определение модуля упругости при сдвиге в соответствии с ГОСТ 3565-80.

Основные сведения

В основе работы материала при кручении лежит деформация сдвига.

Экспериментальные исследования круглых стержней на кручение показывают, что в начальной стадии деформации происходит поворот одного сечения относительно другого на некоторый угол.

Рассмотрим стержень круглого поперечного сечения, скручиваемый моментами M_k (рис. 4.1). Левый конец стержня будем считать неподвижным. Образующие, нанесенные на поверхности стержня, оставаясь прямыми, поворачиваются на одинаковый угол γ – *угол сдвига*. Правый торец стержня, оставаясь плоским, поворачивается на угол φ , называемый *углом закручивания*.

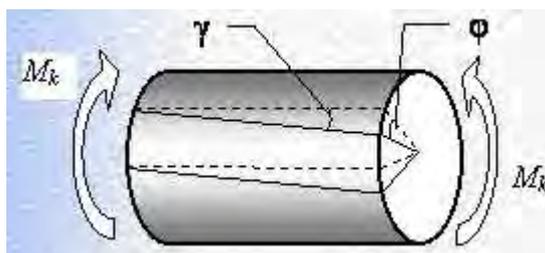


Рисунок 4.1

Размеры стержня не изменяются. Если крутящий момент по длине стержня остаётся постоянным, то угол закручивания φ вычисляют по формуле:

$$\varphi = \frac{M_k \cdot l}{G \cdot J_p},$$

где l – расчетная длина образца;

G – модуль упругости II рода (модуль сдвига);

J_p – полярный момент инерции поперечного сечения стержня;

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

Величина модуля сдвига G определяется экспериментально из опытов на кручение, хотя теоретически она не является независимой от других постоянных, характеризующих упругие свойства изотропных материалов: модуля упругости E и коэффициента Пуассона ν :

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

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Испытания проводят с использованием испытательной машины на стандартном образце $d = 15$ мм (ГОСТ 3565-80). Изменение угла закручивания φ образца определяют с помощью торсисметра.

Максимальное нагружение определяют по формуле:

$$M_k \leq W_p \cdot \tau_{pr},$$

где τ_{pr} – предел пропорциональности при сдвиге;

W_p – полярный момент сопротивления поперечного сечения стержня.

Зная диапазон нагружения, определяют число замеров (5 или 6) и величину ступени нагружения ΔM_k .

Ознакомившись с устройством торсисметра и испытательной машины, торсисметр настраивают таким образом, чтобы цена деления стрелочного индикатора соответствовала углу поворота на 1 мин. Нагружение производится вручную.

Начальный крутящий момент M_k принимают за условный ноль и снимают первое показание по торсисметру. Далее увеличивают крутящий момент одинаковыми ступенями ΔM_k , снимают показания на торсисметре и заносят их в журнал испытания. Доводят нагрузку до очередного значения плавно (для этого ручку нагружения держат двумя руками), не "перескакивая" нужное значение, т. к. даже частичная разгрузка недопустима.

Снятие отсчетов можно производить и при разгрузке, соблюдая сказанные правила, т.е. плавно, без "перескакивания". При получении адекватных значений результаты опыта можно считать достоверными.

В процессе испытания образца на кручение после каждой ступени нагружения регистрируют M_k [$H \cdot m = Па$] и угол закручивания φ [мин], которые заносят в журнал наблюдений, затем по этим данным строят график диаграммы закручивания образца в координатах $M_k - \varphi$ (рис. 4.2), по которому проверяют линейную зависимость, т.е. справедливость закона Гука.

Если экспериментальные точки окажутся на линии, близкой к прямой, то проводят эту прямую так, чтобы точки равномерно располагались по обе стороны от этой линии.

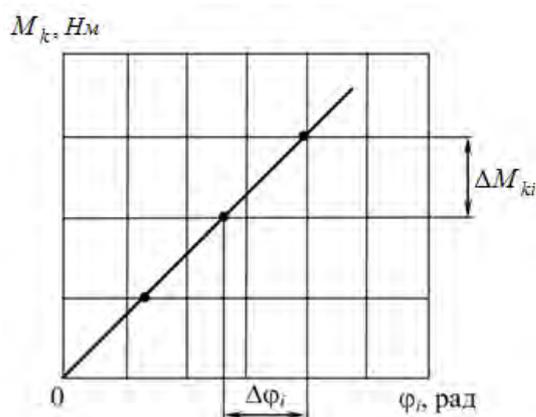


Рисунок 4.2

После очередной записи отсчетов моментов и углов закручивания в журнале испытаний для каждой ступени нагружения производят подсчет приращений показаний крутящего момента M_k и угла закручивания φ , которые заносят во вторые колонки. Среднее приращение угла закручивания $\Delta\varphi_{cp}$ определяют по формуле:

$$\Delta\varphi_{cp} = \frac{\sum \Delta\varphi_i}{n},$$

где n – число ступеней нагружения.

Тогда используя формулу $\varphi = \frac{M_k \cdot l}{G \cdot J_p}$, модуль сдвига (модуль упругости II

рода) будет равен: $G_{оп} = \frac{\Delta M_k \cdot l}{\Delta\varphi_{cp} \cdot J_p}$.

Полученные в опыте значения модуля сдвига (модуля упругости II рода) сравнивают с табличным значением $G_T = 0,8 \cdot 10^{11}$ Па и определяют погрешность

опыта: $\delta_G = \frac{G_T - G_{оп}}{G_T} \cdot 100\%$.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Схема экспериментальной установки и размеры образца.
3. Таблица с экспериментальными данными и табличными значениями.
4. Диаграмма зависимости угла закручивания от величины крутящего момента.
5. Расчет модуля сдвига.
6. Вывод.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. При каком нагружении прямой брус испытывает деформацию кручения?
2. Что называется углом закручивания?
3. Как выражается закон Гука при кручении?
4. По каким формулам можно определить модуль сдвига (модуль упругости второго рода)?
5. Как опытным путем определяется модуль сдвига (модуль упругости второго рода)?
6. Как экспериментально определяется угол закручивания образца? Какие измерительные приборы и приспособления при этом применяются?
7. Что называется жесткостью поперечного сечения бруса при кручении? Размерность жесткости поперечного сечения.
8. Какие факторы влияют на величину угла закручивания?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

5.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ПРЯМОМ ПОПЕРЕЧНОМ ИЗГИБЕ

Цель работы: экспериментальная проверка формулы для определения нормальных напряжений в поперечном сечении балки при поперечном изгибе.

Основные сведения

Поперечным изгибом называется такой вид деформации балки, при котором в поперечных сечениях стержня действуют изгибающий момент M_x и поперечная сила Q_y . Остальные силовые факторы равны нулю (рис. 5.1.1).

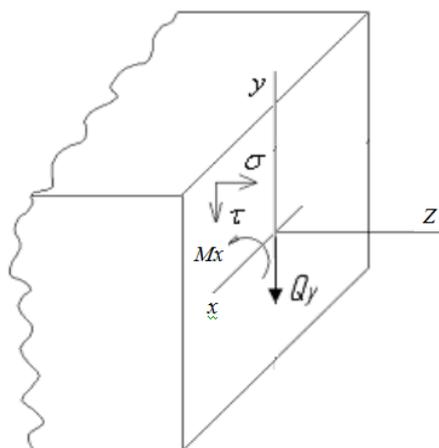


Рисунок 5.1.1

В поперечных сечениях балки действуют нормальные и касательные напряжения. Эпюры нормальных и касательных напряжений показаны на рис. 5.1.2. Нормальные напряжения в поперечном сечении определяются по формуле

$$\sigma = \frac{-M_x}{J_x} \cdot y,$$

где J_x – момент инерции относительно нейтральной оси x , y – координата точки сечения, в которой определяется напряжение.

Максимальные нормальные напряжения (рис. 5.1.2) возникают в точках сечения, наиболее удаленных от нейтрального слоя и равны

$$\sigma_{\max} = \frac{M_x}{W_x},$$

где W_x – осевой момент сопротивления сечения.

Касательные напряжения в поперечном сечении определяются по формуле Журавского

$$\tau_{\max} = \frac{Q_y \cdot S_x^*}{b \cdot J_x},$$

где S_x^* – статический момент отсеченной части сечения относительно нейтральной оси; b – ширина сечения в месте горизонтального среза (горизонтальный срез проводится параллельно плоскости XZ через точку сечения, в которой определяется напряжение).

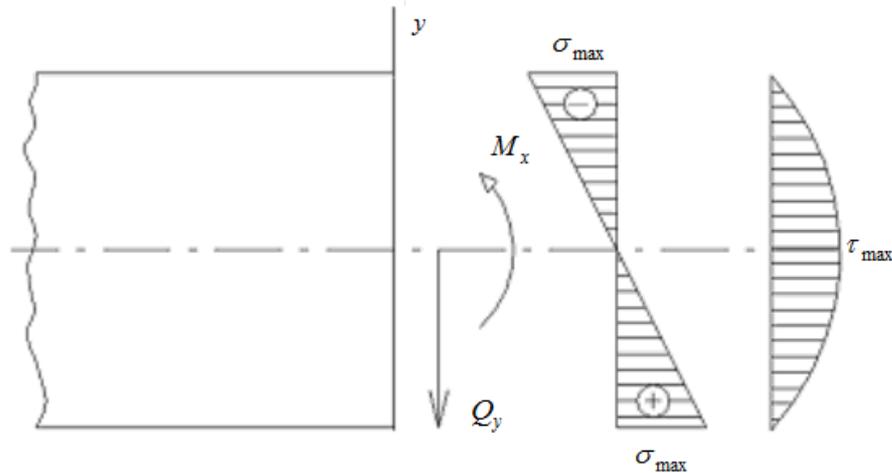


Рисунок 5.1.2

Распределение касательных напряжений по высоте прямоугольного сечения показано на рис. 5.1.2. Сравнение теоретического и экспериментального значений напряжений проводится для двухопорной балки (рис. 5.1.3) в сечениях 1 – 1 и 2 – 2.

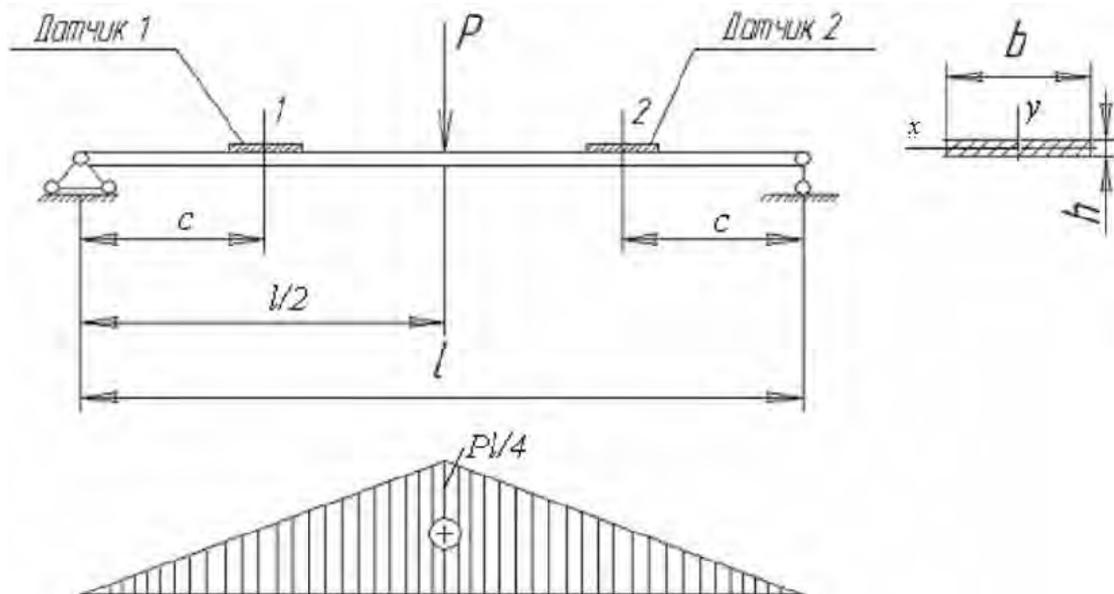


Рисунок 5.1.3

Максимальное теоретическое значение напряжения в сечениях 1 – 1 и 2 – 2 равно

$$\sigma_{\max} = \frac{M_x}{W_x} = \frac{P \cdot \frac{c}{2}}{bh^2} = \frac{3Pc}{6bh^2}.$$

Данная работа выполняется на специальной лабораторной установке для испытания на изгиб балок, шарнирно-закрепленных на опорах. Для измерений напряжений применяется прибор ИД-70 и проволочные датчики омического сопротивления.

Экспериментальные значения σ_{\max} в сечениях 1 – 1 и 2 – 2 определяются электротензометрическим методом.

Если ΔT приращение показаний датчиков от нагрузки P , то

$$\sigma_{\max} = \gamma_{\sigma} \cdot \Delta T,$$

где γ_{σ} – коэффициент тензочувствительности по напряжениям.

Для повышения точности эксперимента проводится несколько нагружений образца с постоянным шагом по нагрузке ΔP и определяется σ_{\max} от действия ΔP :

$$\sigma_{\max} = \gamma_{\sigma} \cdot \Delta T_{cp},$$

где ΔT_{cp} – среднее приращение показаний тензодатчиков от нагрузки ΔP .

Так при трех ступенях нагружения

$$\Delta T_{cp} = \frac{\sum \Delta T_1 + \sum \Delta T_2}{6},$$

где ΔT_1 , ΔT_2 – приращения показаний первого и второго датчиков.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

На балку наклеиваются два тензодатчика (рис. 5.1.3). С помощью прибора ИД-70 снимаются показания датчиков без нагрузки. Проводится три нагружения балки сосредоточенной силой, которую создает сила тяжести груза массой в 1 кг, 2 кг, 3 кг. Сила тяжести приложена в середине пролета балки, шагом по нагрузке $\Delta P = 9,81H$. На каждом шаге нагружения снимаются показания тензодатчиков. Показания тензодатчиков заносятся в таблицу.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Схема двухопорной балки.
3. Размеры и геометрические характеристики балки.
4. Теоретическое значение σ_{\max} в сечениях 1–1 и 2–2 от нагрузки ΔP .
5. Коэффициент тензочувствительности по напряжениям.
6. Таблица результатов опыта.
7. Среднее приращение показаний тензодатчиков при трех ступенях нагружения.

8. Экспериментальное значение σ_{\max} в сечениях 1–1 и 2–2 от нагрузки ΔP :

$$\sigma_{\max}^{\text{эксп}} = \gamma_{\sigma} \cdot \Delta T_{\text{ср}}$$

9. Сопоставление теоретического и экспериментального значений напряжений

$$\Delta\sigma = \left| \frac{\sigma_{\max}^{\text{теор}} - \sigma_{\max}^{\text{эксп}}}{\sigma_{\max}^{\text{теор}}} \right| \cdot 100\% .$$

10. Вывод.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой вид деформации балки называется поперечным изгибом?
2. Как определяются нормальные напряжения в поперечном сечении при изгибе балки?
3. Как определяются касательные напряжения в поперечном сечении при изгибе балки?
4. Что такое нейтральный слой и нейтральная ось и как они расположены?
5. Как определяются геометрические характеристики поперечного сечения, и какую они имеют размерность?
6. В каких точках поперечного сечения возникают при изгибе максимальные нормальные напряжения?
7. В каких точках поперечного сечения возникают при изгибе максимальные касательные напряжения?
8. Как определяются напряжения электротензометрическим методом?
9. Чем объясняется расхождение теоретического и экспериментального значений нормальных напряжений?

5.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ ПРЯМОМ ПОПЕРЕЧНОМ ИЗГИБЕ

Цель работы: опытное определение прогибов балки и сравнение их с теоретическими значениями.

Основные сведения

Вычисленные напряжения позволяют проверять прочность балок. Однако весьма прочные балки могут оказаться непригодными к эксплуатации из-за недостаточной жесткости.

Рассмотрим деформацию балки прямоугольного поперечного сечения, закрепленную на двух шарнирных опорах, на которую действует сосредоточенная сила P (рис. 5.2.1).

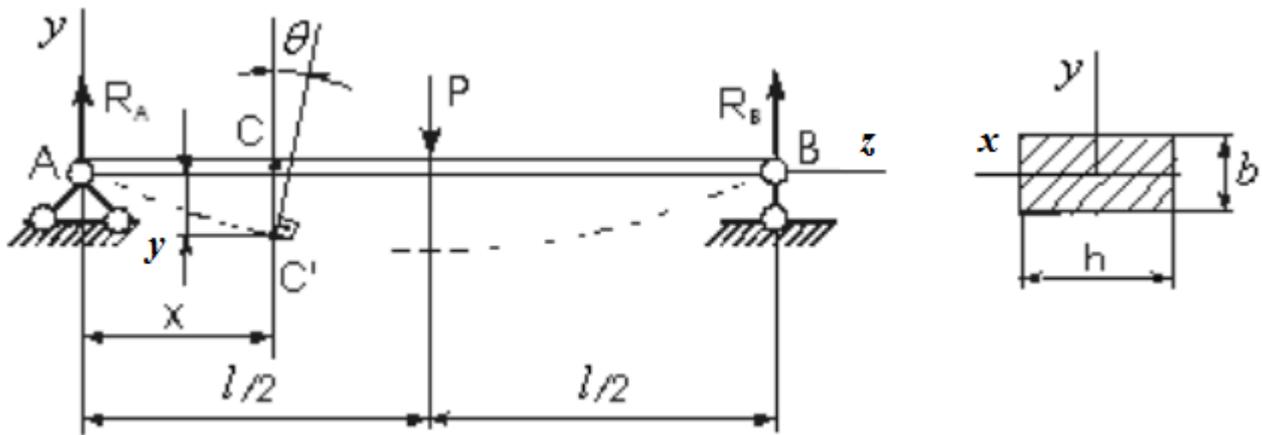


Рисунок 5.2.1

Искривленная ось балки называется **изогнутой осью**, или **упругой линией**. При деформации точки оси балки получают вертикальные перемещения (прогибы), а поперечные сечения поворачиваются на некоторые углы.

Деформация балки при поперечном изгибе характеризуется двумя величинами:

а) перемещением « y » центра тяжести сечения по направлению, перпендикулярному оси балки, которое носит название **прогиба**;

б) **углом θ поворота сечения** или равным ему углом наклона касательной к упругой линии.

В теории изгиба балок прогибы считаются малыми по сравнению с длиной балки, а квадраты углов поворота малыми по сравнению с единицей. Прогибы и углы поворота сечений связаны зависимостью

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{dy}{dz}.$$

Между кривизной оси изогнутой балки, жесткостью и изгибающим моментом существует зависимость

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M_x}{EJ_x},$$

где $\frac{1}{\rho}$ – кривизна изогнутой оси балки; M_x – изгибающий момент; EJ_x – жесткость при изгибе поперечного сечения.

Данная зависимость получена в предположении выполнения гипотезы плоских сечений и справедливости закона Гука при растяжении.

По гипотезе плоских сечений: поперечные сечения, плоские до деформации, остаются плоскими и после деформации.

Из зависимости с использованием исходных гипотез и выражения для кривизны изогнутой оси балки выводится **дифференциальное уравнение упругой линии балки**

$$EJ_x \cdot y'' = M_x(z).$$

Результат интегрирования дифференциального уравнения для балки (рис. 5.2.2), нагруженной различными видами нагрузок, можно представить в виде **универсального уравнения упругой линии балки**

$$EJ_y = EJ y_0 + EJ \theta_0 z \left| + \frac{M(z-a)^2}{2!} \right| + \frac{P(z-b)^3}{3!} \left| - \frac{q(z-c)^4}{4!} \right| + \frac{q(z-d)^4}{4!} \left| \right.$$

I II III IV V

Здесь θ_0 и y_0 – угол поворота сечения, и его прогиб в начале координат. Их принято называть **начальными параметрами**. Чтобы получить аналитическое уравнение упругой линии на каком-либо участке, в универсальном уравнении нужно сохранить члены, стоящие слева от вертикальной черты с номером этого участка. Начальные параметры θ_0 и y_0 определяются из граничных условий.

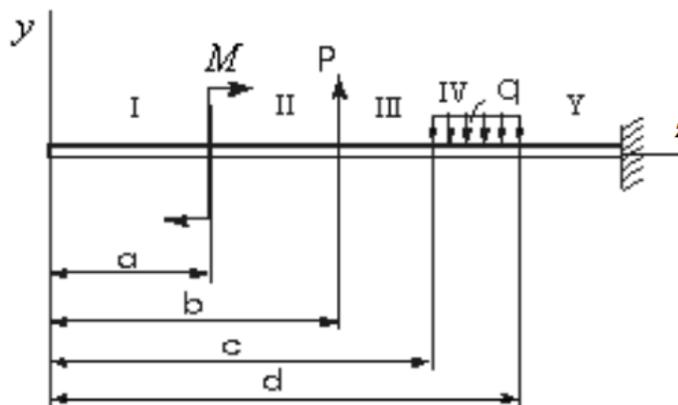


Рисунок 5.2.2

Определим методом начальных параметров прогиб середины пролета балки, изображенной на рис.5.2.3.

Работа проводится на специальной установке, схема которой приведена на рис. 5.2.3. Установка состоит из шарнирно-закрепленной балки (1), гиревого подвеса (2), основания (3), двух шарнирных опор (4) и набора грузов. Для измерения прогибов применяется индикатор часового

типа (5). Индикатор имеет две шкалы: малую с ценой деления 1 мм и большую – с ценой деления 0,01 мм.

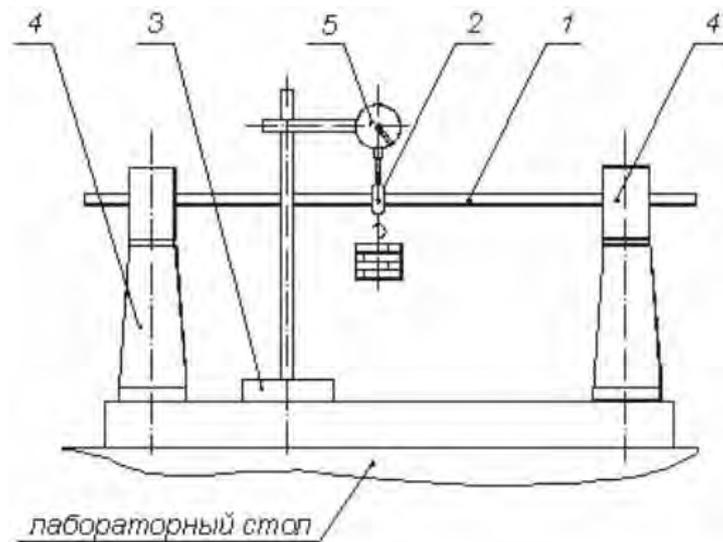


Рисунок 5.2.3

Из уравнений равновесия балки реакции в опорах A и B равны

$$R_A = R_B = \frac{P}{2}.$$

Универсальное уравнение упругой линии балки принимает вид

$$EJ y = EJ y_0 + EJ \theta_0 z + R_A \frac{z^3}{3!} \Big|_I - P \frac{\left(z - \frac{l}{2}\right)^3}{3!} \Big|_II.$$

Граничные условия: при $z = 0$ $y = 0$, при $z = l$ $y = 0$. Из граничных условий

$$EJ y_0 = 0, \quad EJ \theta_0 = \frac{Pl^2}{48} - \frac{Pl^2}{12} = -\frac{3Pl^2}{48}.$$

Прогиб середины пролета по универсальному уравнению упругой линии балки равен

$$EJ y = -\frac{3}{48} Pl^2 \frac{l}{2} + \frac{P l^3}{2 \cdot 48} = -\frac{Pl^3}{48}.$$

Для определения опытного значения прогиба балки в середине пролета проводятся три нагружения с постоянным шагом по нагрузке ΔP . Прогиб от нагрузки ΔP равен

$$y_{\text{эсп}} = \frac{\sum \Delta y}{3},$$

где Δy – приращение показаний индикатора на каждом шаге нагружения.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Вращением подвижной шкалы большая стрелка индикатора устанавливается на нуль и записывается показание малой стрелки. Проводится три нагружения балки грузами массой 1 кг, 2 кг, 3 кг, которые создают силу тяжести с шагом по нагрузке $\Delta P = 9,81 Н$. На каждом шаге нагружения, снимаются показания индикатора.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Размеры и необходимые геометрические характеристики балки.
3. Модуль упругости стали E , из которой изготовлена балка.
4. Таблица результатов опыта.
5. Экспериментальное значение прогиба в середине пролета от нагрузки ΔP .
6. Теоретическое значение прогиба в середине пролета от нагрузки

$$y_{\text{теор}} = \frac{\Delta P l^3}{48 E J_x}$$

7. Сравнение теоретического и экспериментального значений прогиба

$$\left| \frac{y_{\text{теор}} - y_{\text{эксп}}}{y_{\text{теор}}} \right| \cdot 100\%$$

8. Вывод.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие перемещения получают точки оси балки при изгибе?
2. Какая зависимость между прогибами и углами поворота сечений?
3. При каких прогибах и углах поворота справедлива теория изгиба балок?
4. Какие гипотезы приняты в теории изгиба балок?
5. Как записывается дифференциальное уравнение упругой линии балки?
6. Как записывается универсальное уравнение упругой линии балки?
7. Что такое начальные параметры и из каких условий они определяются?
8. Почему при экспериментальном определении прогиба проводится несколько нагружений?
9. Чем объяснить расхождение между теоретическим и экспериментальным значениями прогиба?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ КОСОМ ИЗГИБЕ

Цель работы: определить опытным путем напряжение и полное перемещение при косом изгибе балки и сравнить с теоретическими значениями.

Основные сведения

Косым называется изгиб, когда плоскость действия суммарного изгибающего момента не совпадает ни с одной из главных осей инерции сечения балки.

Рассмотрим пример косоуго изгиба, возникающего при действии внешней силы, перпендикулярной продольной оси бруса, но не проходящей через главную ось его поперечного сечения (рис. 6.1). Решение задачи на косоуго изгиб сводится к замене косоуго изгиба двумя плоскими путем разложения нагрузки, вызывающей косоуго изгиб, на направления главных осей инерции сечения.

Обозначим главные оси инерции через x , y : тогда составляющая нагрузка, направленная вдоль оси y , будет равна $P_y = P \cdot \cos \varphi$, вдоль оси x – $P_x = P \cdot \sin \varphi$.

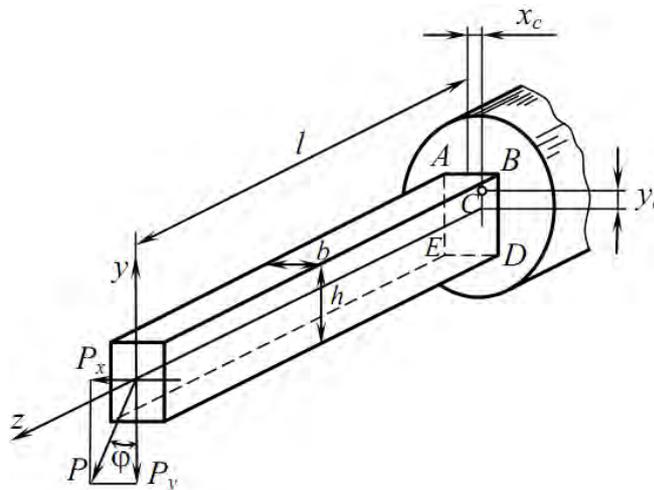


Рисунок 6.1

Рассмотрим, например, точку C опорного сечения, имеющую координаты x и y относительно главных осей.

В этом сечении:

а) изгибающий момент, возникающий при изгибе бруса в вертикальной плоскости с нейтральной осью x , равен

$$M_x = Pl = Pl \cos \varphi,$$

б) изгибающий момент, возникающий при изгибе бруса в горизонтальной плоскости с нейтральной осью y , равен

$$M_y = Pl = Pl \sin \varphi,$$

где l – длина балки;

φ – угол наклона силовой плоскости относительно оси y .

При изгибе в вертикальной плоскости в верхней половине балки, в том числе и в точке C , будут возникать *растягивающие напряжения*, в нижней половине балки – *сжимающие*.

Величину напряжений в точке C определяем по формуле

$$\sigma' = \frac{M_x}{J_x} y_c,$$

где y_c – расстояние от нейтральной оси x до точки C ;

J_x – момент инерции поперечного сечения относительно оси x .

Вследствие изгиба в горизонтальной плоскости в правой половине балки, следовательно и в точке C , будут возникать растягивающие напряжения, а в левой половине – сжимающие. Величина напряжений в точке C при этом определяется по формуле

$$\sigma'' = \frac{M_y}{J_y} x_c,$$

где x_c – расстояние от нейтральной оси y до точки C ;

J_y – момент инерции поперечного сечения относительно оси y .

Суммарное напряжение в точке C определяем по формуле

$$\sigma_c = \sigma' + \sigma'' = \frac{M_x}{J_x} y_c + \frac{M_y}{J_y} x_c.$$

Эта формула справедлива при любой другой форме сечения балки.

Прогибы при косом изгибе определяются отдельно в каждой плоскости путем интегрирования дифференциального уравнения изогнутой оси балки, по методу Мора или по правилу Верещагина.

Суммарный прогиб определяется как геометрическая сумма составляющих прогибов

$$f_{\text{сум}} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2},$$

где f_x – прогиб по направлению оси x ,

f_y – прогиб по направлению оси y .

Исследования деформации косоугольного изгиба выполняются на специальной настольной установке (рис. 6.2).

Консольная балка 3, длиной l жестко закреплена в поворачивающемся основании. Основание с помощью стойки 7 крепится к столу.

На свободный конец балки навешивается платформа 6 для размещения грузов. Труба 2, также жестко закрепленная на основании, предназначена для установки двух индикаторов 1 часового типа. Причем оси измерительных штоков индикаторов взаимно перпендикулярны и всегда совпадают с направлениями главных осей инерции сечения.

Основание и труба, с закрепленными на ней индикаторами, могут поворачиваться в подставке 7 относительно продольной оси балки на любой угол в пределах шкалы 5. Отсчёт угла ведётся с помощью стрелки 4.

Независимо от угла поворота оси индикаторов всегда совпадают с главными осями инерции сечения, а угол между направлением силы P и одной из главных осей будет равен φ .

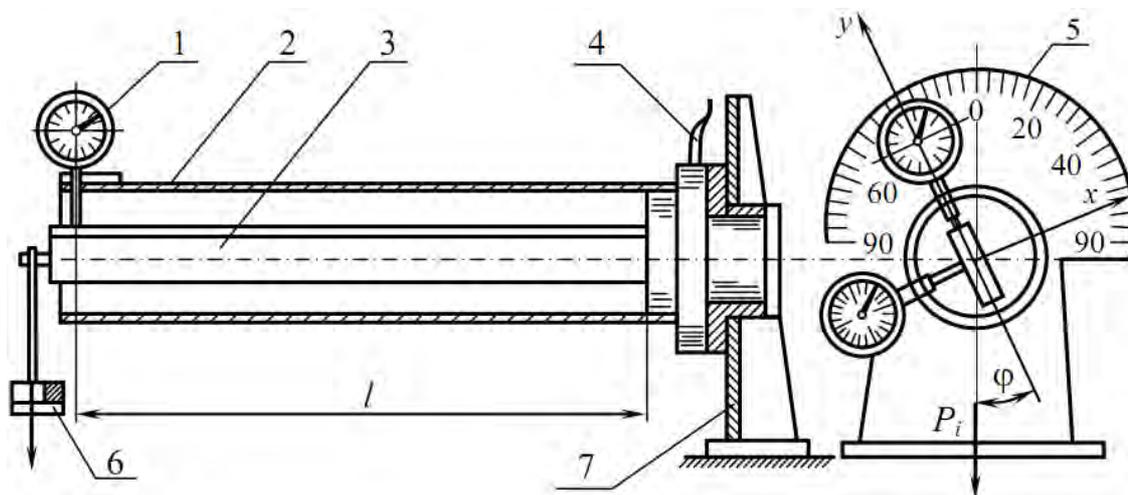


Рисунок 6.2

При нагружении балки каждый индикатор будет отсчитывать величину перемещения по направлениям главных осей f_y и f_x .

Величина напряжений при эксперименте не определяется. Размеры балки измеряют с помощью линейки и штангенциркуля и заносят в журнал лабораторных работ.

Эксперимент проводят на балках двух форм сечений: прямоугольной и равнобокого уголка.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Перед началом эксперимента установить балку прямоугольного сечения так, чтобы стрелка 4 по шкале 5 указывала нуль (рис. 2). При этом нужно убедиться в том, что направление силы совпадает с главной осью.

2. Нагрузить балку, при этом стрелка индикатора горизонтального направления должна остаться близко к нулю.

3. Повернуть основание на необходимый угол, например 30° или 45° , и произвести нагружение. Записать показания обоих индикаторов в таблицу наблюдений.

4. Балку прямоугольного сечения заменить балкой углового сечения и повторить опыт.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Схема экспериментальной установки.
3. Расчетные зависимости и результаты вычислений.
4. Таблица наблюдений и вычислений

| № п/п | Форма сечения балки | Моменты инерции относительно главных осей, см ⁴ | | Сила P_i | Угол φ | Прогибы по главным осям, мм | | | |
|----------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------|---------------|-------------------|-----------------------------|-------|-----------|-------|
| | | J_y | J_x | | | Расчет | | Эксперим. | |
| | | | | | | f_y | f_x | f_y | f_x |
| | Прямо- уголь- ник | | | | | | | | |
| | Равно- бокий уголок | | | | | | | | |

5. Анализ результатов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы условия возникновения косоугольного изгиба?
2. Какие силовые факторы действуют в поперечном сечении стержня при косоугольном изгибе?
3. По какой формуле определяются нормальные напряжения при косоугольном изгибе?
4. Что такое нулевая линия в поперечном сечении и каким свойством она обладает?
5. В каких точках поперечного сечения возникают максимальные по модулю нормальные напряжения?
6. Как определяются перемещения точек оси стержня при косоугольном изгибе?
3. Назовите случаи, когда при любых углах φ прогиб следует по линии действия силы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ВНЕЦЕНТРЕННОМ РАСТЯЖЕНИИ

Цель работы: определить опытным путем величины нормальных напряжений в различных точках поперечного сечения бруса при внецентренном растяжении и сравнить их с теоретическими значениями.

Основные сведения

Деформация внецентренного нагружения (растяжения или сжатия) относится к сложному виду сопротивления. Она возникает в тех случаях, когда продольная сила F приложена параллельно оси бруса, но не в центре тяжести поперечного сечения, а с некоторым смещением – эксцентриситетом (рис. 7.1 а) относительно главных осей сечения.

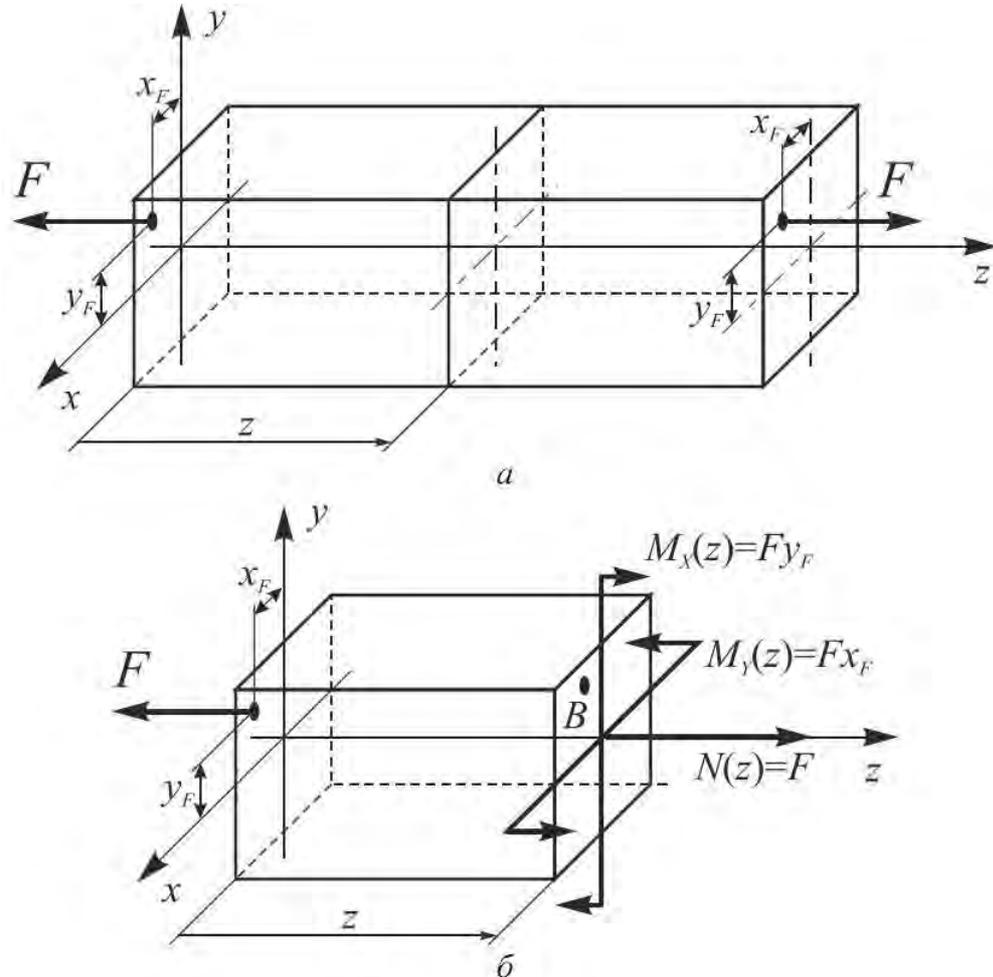


Рисунок 7.1

Если точка приложения силы имеет координаты x_F и y_F , то относительно главных осей сила F создает моменты $M_x = F \cdot y_F$ и $M_y = F \cdot x_F$. Таким образом, внецентренное растяжение-сжатие является близким косому изгибу. В поперечном сечении стержня при внецентренном растяжении-сжатии возникают не только изгибающие моменты, но и продольная сила (рис. 7.1 б).

В произвольной точке $B(x, y)$ поперечного сечения, нормальное напряжение σ вычисляется как алгебраическая сумма нормальных напряжений от каждой компоненты внутренних силовых факторов и определяется:

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_x y}{J_x} + \frac{M_y x}{J_y} = \frac{F}{A} + \frac{F y_F y}{J_x} + \frac{F x_F x}{J_y},$$

где A – площадь поперечного сечения стержня,

J_x, J_y – осевые моменты инерции сечения относительно осей x и y .

Уравнение нейтральной линии получим, приравняв напряжения нулю:

$$\sigma = \frac{1}{A} + \frac{y_F y}{J_x} + \frac{x_F x}{J_y} = 0.$$

Наибольшие напряжения возникают в точках, наиболее удаленных от нейтральной линии:

$$\sigma_{\max} = F \left(\frac{1}{A} + \frac{y_F y_1}{J_x} + \frac{x_F x_1}{J_y} \right) = 0,$$

где x_1 и y_1 – координаты точки, наиболее удаленной от нейтральной линии.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Испытание проводится на разрывной машине. Образец представляет собой дюралевую пластинку, размеры которой позволяют разместить четыре тензодатчика по ширине образца (рис. 7.2). Длина образца должна быть достаточной для того, чтобы влияние способа приложения сил можно было считать исключенным.

Величина эксцентриситета e , а также расстояния от продольной оси пластины до тензодатчиков (y_1, y_2, y_3, y_4) определяются перед экспериментом. Величина наибольшей силы прикладываемой к образцу, определяется его прочностью и не должна превышать 40÷50% от разрушающей.

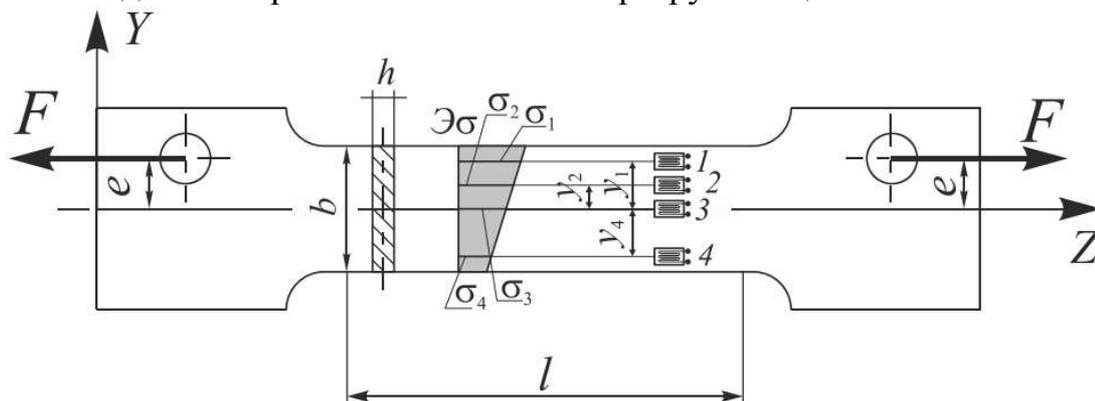


Рисунок 7.2

После проведения необходимых измерений вычисляют теоретические напряжения в точках 1, 2, 3 и 4 по формуле

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_x y}{J_x} + \frac{M_y x}{J_y} = \frac{F}{A} + \frac{F y_F y}{J_x} + \frac{F x_F x}{J_y},$$

учитывая, что $y_F = e$, $x_F = 0$, $y_1 = -y_4$, $y_3 = 0$, тогда напряжения:

$$\sigma_1 = \frac{F}{A} + \frac{F e y_1}{J_x}; \quad \sigma_2 = \frac{F}{A} + \frac{F e y_2}{J_x}; \quad \sigma_3 = \frac{F}{A}; \quad \sigma_4 = \frac{F}{A} + \frac{F e y_4}{J_x},$$

где $A = bh$, $J_x = \frac{hb^3}{12}$.

Для сопоставления результатов расчета и эксперимента эпюры напряжений строят в одинаковом масштабе на одном рисунке. Погрешность вычисляют для каждой точки, в которой вычислялось и измерялось напряжение.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Схема образца при внецентренном растяжении с расположением тензометров.
3. Размеры и геометрические характеристики поперечного сечения.
4. Определение теоретических значений:
 - напряжений в точках 1, 2, 3 и 4;
 - координаты нулевой линии.
5. Определение экспериментальных значений напряжений от нагрузки.
6. Сравнение теоретических и экспериментальных значений.
7. Вывод.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какая деформация называется внецентренным растяжением (сжатием)?
2. Из каких простейших видов деформаций состоит сложная деформация внецентренного растяжения?
3. Какие допущения принимаются при решении задачи внецентренного растяжения (сжатия)? Какой вид при этом имеет формула напряжений?
4. Чем характерна нейтральная ось и какой вид имеет ее уравнение? Как определить ее положение в сечении?
5. Чему равны напряжения в центре тяжести сечения бруса? Как это доказать?
6. Как опытным путем определить нормальные напряжения в точках сечения бруса? Какие датчики при этом можно применять?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ СОВМЕСТНОМ ДЕЙСТВИИ КРУЧЕНИЯ И ИЗГИБА

Цель работы: экспериментальная проверка расчетных формул для определения величины, и направления главных напряжений при плоском напряженном состоянии от совместного действия изгиба и кручения.

Основные сведения

Тонкий и достаточно длинный цилиндр зашпелен одним концом и нагружен на свободном крае силой P и скручивающей парой m (рис. 8.1).

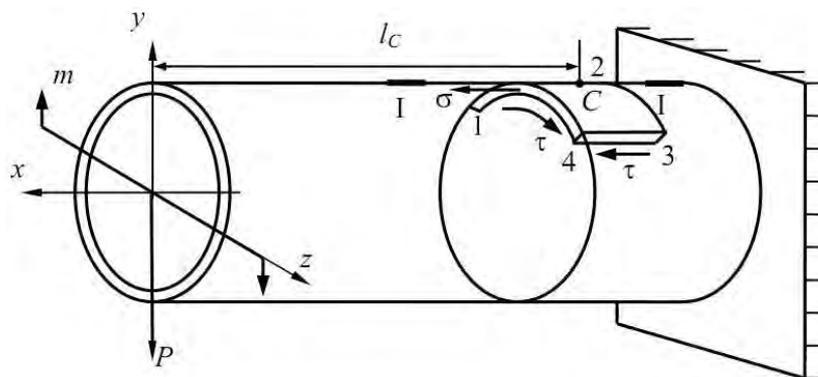


Рисунок 8.1

По граням элемента $1-2-3-4$, вырезанного в окрестности точки C плоскостями, проходящими через ось цилиндра, и плоскостями, нормальными к ней, действуют касательные и нормальные напряжения.

Касательные напряжения определяются по формуле:

$$\tau = \frac{M_k}{W_p},$$

где M_k – крутящий момент, в данном случае, равен скручивающему моменту m ;

$$W_p = \frac{\pi D^3}{16} (1 - \alpha^4) \quad \text{– полярный момент сопротивления сечения}$$

цилиндра, причем $\alpha = \frac{d}{D}$, D и d – наружный и внутренний диаметры цилиндра.

Нормальные напряжения в точке C , принадлежащие крайнему верхнему волокну $I-I$, будут равны:

$$\sigma = \frac{M_c}{W},$$

где $M_c = P \cdot l_c$ – изгибающий момент в сечении на расстоянии l_c от свободного края цилиндра;

W – осевой момент сопротивления.
 Для кольцевого сечения: $W = 0,5 \cdot W_p$.
 Элемент 1-2-3-4, вырезанный вокруг точки C , показан на рис. 8.2.

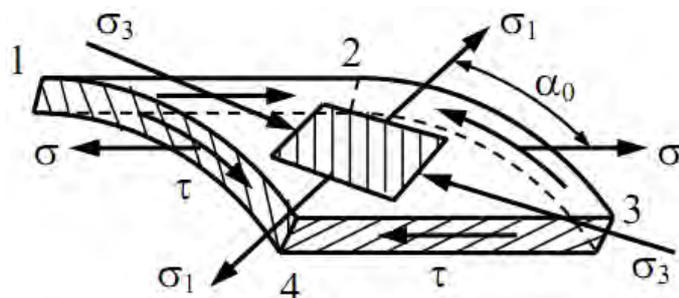


Рисунок 8.2

Величина главных напряжений σ_1 и σ_3 в этом случае определяется по формуле:

$$\sigma_{1,3} = \frac{\sigma}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}.$$

Направление максимального главного напряжения находится из следующего выражения:

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = \frac{2\tau}{\sigma},$$

где α_0 – угол, отсчитываемый от направления σ до направления σ_1 . Положительный угол α_0 отсчитывается против часовой стрелки.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Работа выполняется на установке *СМ 18А* (рис. 8.3).

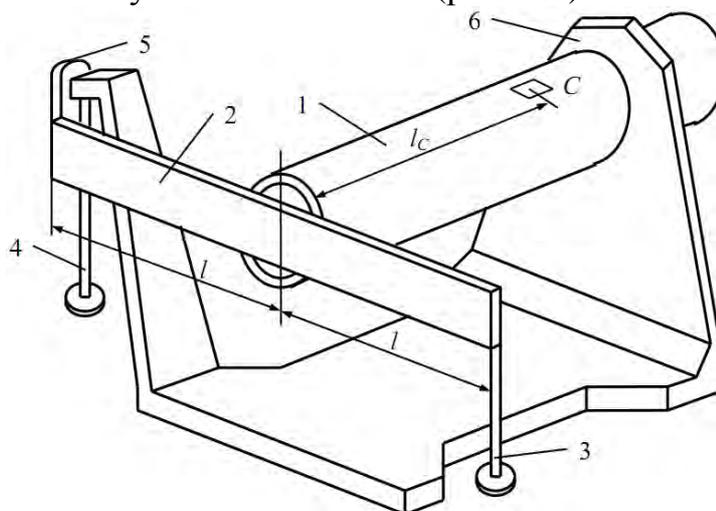


Рисунок 8.3

Для экспериментального исследования напряженного состояния в стенках цилиндра, используем веерную розетку из трех тензорезисторов, показанную на рис. 8.4 (вид сверху).

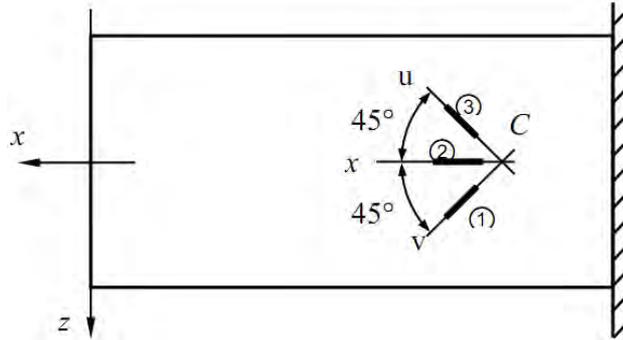


Рисунок 8.4

В случае совместного действия силы P и скручивающего момента m на конце консоли (рис. 8.1) направление главных напряжений неизвестно и может быть определено по относительным деформациям ϵ_u , ϵ_x , ϵ_v в направлениях u , x , v (рис. 8.5).

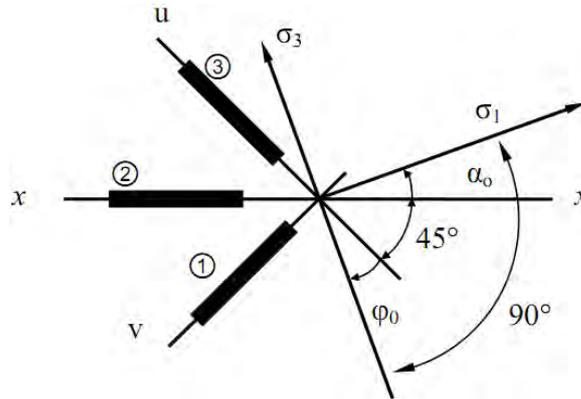


Рисунок 8.5

Направление минимального главного напряжения σ_3 в нашем случае определится по формуле:

$$\operatorname{tg} 2\varphi_0 = \frac{2\epsilon_x - \epsilon_u - \epsilon_v}{\epsilon_u - \epsilon_v}.$$

Можно установить, что направление максимального главного напряжения σ_1 определяется по формуле:

$$\alpha_0 = 45^\circ - \varphi_0,$$

где φ_0 – отсчитывается от направления u ;

α_0 – отсчитывается от направления x (рис. 8.4).

Относительные продольные деформации в направлении действия главных напряжений находятся по формуле:

$$\epsilon_{1,3} = \frac{\epsilon_u + \epsilon_v}{2} \pm \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\epsilon_x - \epsilon_u)^2 + (\epsilon_x - \epsilon_v)^2}.$$

Относительные деформации в направлении датчиков u , x , v , определим по показаниям прибора:

$$\varepsilon_u = K_\varepsilon \Delta_{n_u}, \quad \varepsilon_x = K_\varepsilon \Delta_{n_x}, \quad \varepsilon_v = K_\varepsilon \Delta_{n_v},$$

где Δ_{n_u} , Δ_{n_x} , Δ_{n_v} – приращения показаний прибора на ступень нагрузки;

K_ε – цена деления прибора в относительных деформациях.

Главные напряжения определяются выражениями:

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

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

где μ , E – коэффициент Пуассона и модуль Юнга материала цилиндра.

Плавно без ударов загрузить подвеску 4 грузом весом ΔP_1 , а подвеску 3 – грузами весом ΔP_2 по схеме, изображенной на рис. 8.6.

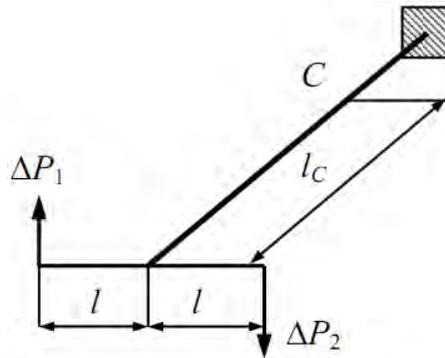


Рисунок 8.6

В расчетах принять для дюралюминиевого цилиндра модуль Юнга $E=71$ ГПа и коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$.

Вычислить теоретические напряжения и учесть, что при такой схеме нагружения, расчетный крутящий момент определяется по формуле $M_k = (\Delta P_1 + \Delta P_2) \cdot l$, а расчетный изгибающий момент – $M_C = (\Delta P_2 - \Delta P_1) \cdot l_C$.

Сопоставить теоретические и опытные напряжения:

$$\delta = \frac{\sigma - \sigma_{оп}}{\sigma} \cdot 100\%.$$

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Схема нагружения.
3. Схема наклейки тензорезисторов.
4. Таблица наблюдений.
5. Сопоставление теоретических и опытных напряжений.

5. Анализ результатов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой случай напряженного состояния называется изгибом с кручением?
2. Какие внутренние силовые факторы возникают в поперечном сечении стержня при совместном действии изгиба и кручения?
3. Какие напряжения возникают в поперечном сечении стержня при совместном действии изгиба и кручения?
4. По каким формулам определяются максимальные значения нормальных и касательных напряжений в поперечных сечениях стержня при изгибе с кручением?
5. Запишите уравнение, которое используется для нахождения угла наклона главных площадок.
6. С какой целью при экспериментальном исследовании нагружение образца осуществляется ступенями?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

ИСПЫТАНИЯ СТЕРЖНЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ

Цель работы: освоение методики проведения испытаний на устойчивость стержня при сжатии и получение навыков экспериментального определения критического значения сжимающей силы.

Основные сведения

В большинстве случаев поперечные размеры стержней определяются из условия прочности. Однако разрушение стержня происходит не только из-за нарушения прочности, но и потому, что стержень не сохранит формы, приданной ему конструктором.

Примером является работа стержня, сжатого силами F . Простейшие опыты показывают, что не всегда возможно разрушить стержень путем доведения напряжений сжатия до предела текучести или до предела прочности материала.

Если подвергнуть продольному сжатию тонкую линейку, то она может сломаться, изогнувшись; перед изломом сжимающие силы будут значительно меньше тех, которые вызвали бы разрушение при простом сжатии.

Разрушение линейки произойдет потому, что она не сохраняет приданную ей форму прямолинейного, сжатого стержня, а искривится, что вызовет появление изгибающих моментов, а стало быть, добавочные напряжения от изгиба.

Поэтому для надежной работы конструкции мало, чтобы она была прочной; надо, чтобы все ее элементы были устойчивы. В частности для сжатых стержней проводят проверку и на прочность и на устойчивость.

Возьмем достаточно длинный по сравнению с его поперечными размерами стержень, шарнирно-прикрепленный к опорам (рис. 9.1), и нагрузим его постепенно возрастающей центральной силой F . Пока сила сравнительно невелика, стержень сохраняет прямолинейную форму. При попытках отклонить его в сторону, он после ряда колебаний возвращается к прямолинейной форме (рис. 9.1 а).

Наконец, можно довести силу F до такой величины, при которой стержень после небольшого отклонения его в сторону уже не выпрямится, а останется искривленным. Попытки выпрямить стержень, не снимая силы F , не удаются. При этом значении силы F прямолинейная форма равновесия стержня перестает быть устойчивой, а значение силы, соответствующее этому случаю, называется критическим $F_{кр}$ (рис. 9.1 б).

При небольшом превышении сжимающей силы F ее критического значения, прямолинейная форма стержня делается крайне неустойчивой, дальнейшее искривление заканчивается либо новой (устойчивой) формой равновесия, либо разрушением.

Исходя из этого, необходимо знать величину критической силы $F_{кр}$, эквивалентной разрушающей нагрузке.

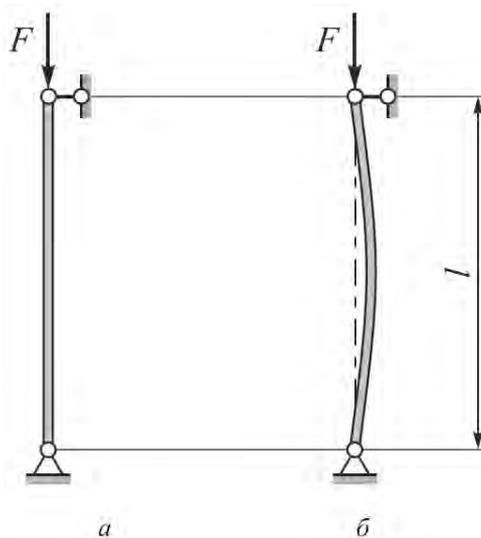


Рисунок 9.1

Впервые, задачу определения критической силы $F_{кр}$ решил академик Петербургской академии наук Л. Эйлер в 1744 году.

Рассмотрим прямой стержень поперечного сечения, шарнирно опертый по концам, и нагружен центральной продольной силой $F = F_{кр}$. В этом случае стержень получит весьма небольшие искривления в плоскости наименьшей жесткости (рис. 9.2 а).

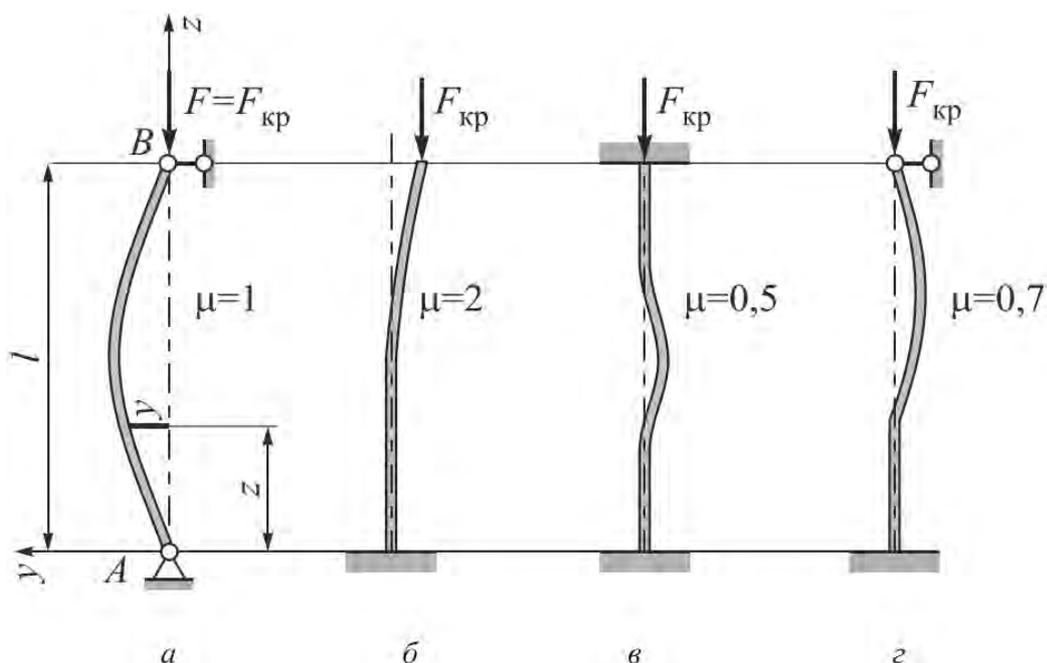


Рисунок 9.2

Для решения поставленной задачи можно воспользоваться приближенным дифференциальным уравнением изогнутой оси стержня. В сечении на расстоянии z от начала координат изгибающий момент равен

$$M(z) = -Fy.$$

Дифференциальное уравнение принимает вид

$$EJ_x y'' = -Fy.$$

Разделив обе части уравнения на EJ_x и обозначая $k^2 = \frac{F}{EJ_x}$, приводим

уравнение к виду:

$$y'' + k^2 y = 0.$$

Общий интеграл этого уравнения имеет вид:

$$y = C_1 \sin kz + C_2 \cos kz.$$

Критическая формула определяется по формуле

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 EJ_x}{l^2}.$$

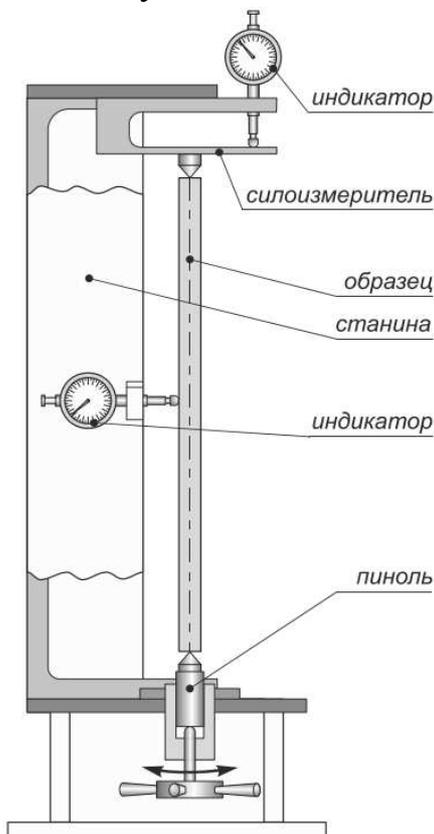
Полученная зависимость называется **формулой Эйлера** для продольно сжатого стержня с шарнирно опертыми концами.

Можно преобразовать данную формулу, введя в нее коэффициент, учитывающий способ закрепления μ , получим

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

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Установка для проведения эксперимента состоит из сварной станины, вертикально установленной на основании.



В нижней части станины установлена подвижная пиноль с центровым наконечником. Осевое перемещение пинноли осуществляется винтовой парой. В верхней части станины установлен силоизмеритель, представляющий собой стальную скобу, деформации которой регистрируются индикатором часового типа. Величина силы, приложенной к скобе силоизмерителя, пропорциональна показаниям индикатора. Определение нагрузки производится с помощью тарировочного графика. Измеряемое усилие прикладывается к центральному наконечнику.

Образец представляет собой стержень прямоугольного сечения с зацентрированными концами. Размеры образца берутся из паспорта установки. Образец, установленный в центрах, нагружают, вращая штурвал нагружающего устройства. Прогибы стержня измеряют с помощью двух индикаторов.

Нагружение образца нужно вести очень плавно равными ступенями. Рекомендуемые ступени нагружения – 10 делений шкалы индикатора. Момент касания образца с наконечниками нагружающего устройства определяют легкими поворотами штурвала, при этом смещение стрелки индикатора не должно превышать одного деления.

После этого шкалы всех индикаторов устанавливаются на нулевое деление. Нагружение продолжается до тех пор, пока интенсивному росту прогибов будет соответствовать незначительное приращение нагрузки. Величину прогиба отсчитывают по одному из двух индикаторов.

Применение двух индикаторов обусловлено только необходимостью уравновешивания действия пружин индикаторов.

Данные формулы $M(z) = -Fy$, $EJ_x y'' = -Fy$ получены в предположении, что стержень идеально прямой, а сила приложена строго по его оси. Реальные стержни всегда имеют некоторую начальную кривизну, а силу невозможно приложить строго по оси стержня. Поэтому реальный стержень будет незначительно изгибаться уже при малых осевых нагрузках. Величина критической силы будет несколько меньше расчетной.

На рис. 8.4 показаны зависимости прогиба от величины осевого усилия линия OAB соответствует идеальным условиям. В этом случае прогибы стержня до достижения критической силы отсутствуют (отрезок OA). При нагружении выше критической силы прогибы резко возрастают при незначительном приращении силы (отрезок AB).

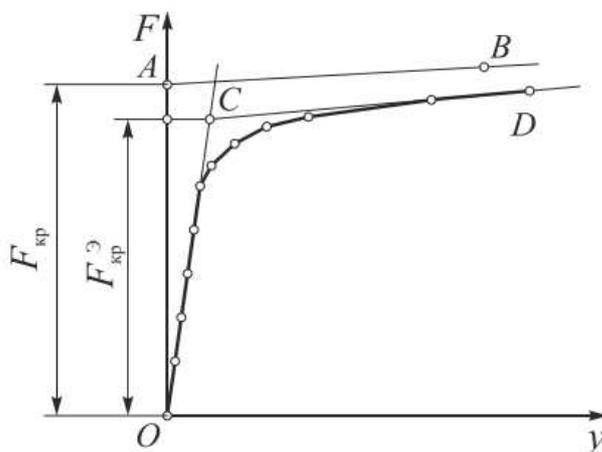


Рисунок 8.4

Экспериментальная линия OD отличается от теоретической линии OAB тем, что прогибы появляются уже при малых нагрузках, но пропорциональны силе. Затем прогибы увеличиваются при незначительном росте сил, что свидетельствует о потере устойчивости равновесия стержня. Для определения экспериментальной величины критической силы необходимо провести касательные к полученному в эксперименте графику, пересечение которых даст точку C . Ордината точки C соответствует экспериментальной величине критической силы $F_{кр}^э$.

При обработке результатов эксперимента можно построить график не в координатах «сила – прогиб», а непосредственно по наблюдаемым показаниям измерительных приборов. Величину критической силы определить по тарировочному графику. В заключение вычисляют величину отклонения теоретического и экспериментального значения силы в процентах.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Схема экспериментальной установки.
3. Таблица наблюдений и вычислений.
4. Теоретическое значение критической силы.
5. Экспериментальное значение критической силы.
6. Анализ результатов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется критической силой?
2. Как теоретически определить величину критического усилия в общем случае закрепления концов стержня?
3. Как влияют начальные неправильности на величину критической силы?
4. Какой физический смысл имеет коэффициент μ ?
5. Относительно какой оси сечения происходит изгиб стержня при потере устойчивости?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: определение ударной вязкости пластичных материалов.

Основные сведения

Действующие на детали машин и сооружений нагрузки могут быть статическими и динамическими.

Ударные нагрузки появляются в результате наличия зазоров в сочленениях сопряженных вращающихся деталей, при возвратно-поступательном движении деталей, при резком изменении скоростей, импульсном действии внешних сил и т.д.

Сопrotивляемость материалов деформированию и разрушению существенно зависит от скоростей деформирования. Например, опыты с ударным растяжением образцов показывают, что диаграмма растяжения значительно отклоняется от диаграммы, полученной при статическом действии сил (рис. 10.1).

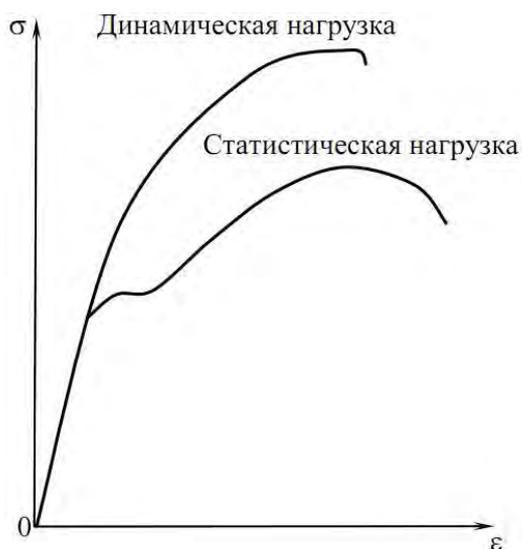


Рисунок 10.1

Во многих случаях материал, обладающий хорошими пластическими свойствами при статическом нагружении, при ударном нагружении обнаруживает склонность к хрупкому разрушению. Наиболее сильное охрупчивание материала при ударе наблюдается при пониженной температуре. Например, результаты испытания образцов стали в интервале температур $+40^\circ$ и -100°C показывают, что энергия, поглощенная образцом при разрушении, снижается от 8 кгм до 1 кгм соответственно.

Таким образом, при проектировании различных машин и сооружений приходится принимать во внимание зависимость механических свойств материалов от характера рабочих нагрузок.

В связи с этим при выборе материала для деталей, подвергающихся динамическим воздействиям, руководствуются так называемой ударной пробой. Она заключается в том, что образцы материала подвергаются разрушению изгибным ударом, измеряя количество энергии, затраченной на разрушение образца.

Оценкой прочности при ударных нагрузках является ударная вязкость, определяемая по формуле:

$$K_C = \frac{K}{S_0} \frac{Дж}{м^2} \left(\frac{кгс \cdot м}{см^2} \right),$$

где K – количество энергии, затраченное на излом образца;

S_0 – площадь поперечного сечения в месте излома.

Ударная вязкость является чисто сравнительной характеристикой, поэтому испытания должны проводиться на однотипных образцах. В соответствии с *ГОСТ 9454-78* для ударных испытаний на изгиб принят образец квадратного сечения (10×10) мм, длиной 55 мм с U-образным надрезом со стороны, противоположно удару маятника. ГОСТ также определяет форму опор и ножа маятника и устанавливает допуски на размеры образцов (рис. 10.2).

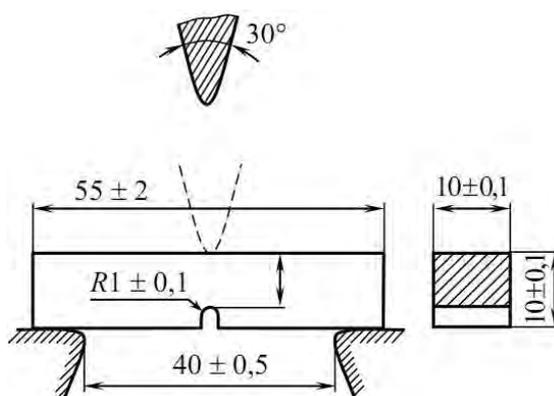


Рисунок 10.2

Надрез в образцах предназначен для создания в зоне разрушения концентрации напряжений. На дне разреза возникает объемное напряженное состояние с положительными главными напряжениями. По этой причине разрушение даже весьма пластичных материалов становится хрупким.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для определения ударной вязкости материалов наибольшее распространение получили маятниковые копры. На рис. 10.3 приведена схема копра с запасом энергии 30 кгм. Груз маятника 1, поднятый на высоту h_1 , имеет запас потенциальной энергии mgh_1 , и удерживается щеколдой 2. При освобождении движущийся маятник встречает на своем пути образец 3. После разрушения образца маятник свободно поднимается на высоту h_2 .

Неизрасходованная часть энергии маятника равна mgh_2 . Энергия, затраченная на разрушение образца, определяется разностью полной энергии и оставшейся

$$A = mg(h_1 - h_2).$$

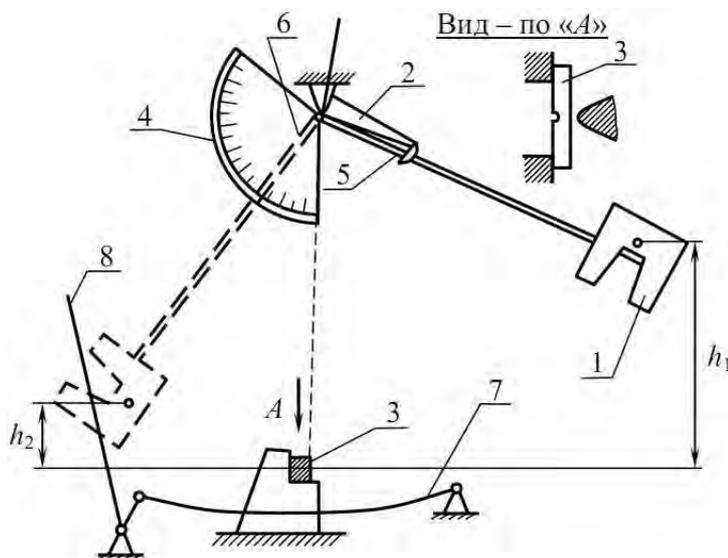


Рисунок 10.3

Устройство копра позволяет производить измерение не с высоты подъема маятника до и после удара, а соответствующих углов отклонения маятника. При падении и последующем взлете маятника упор 5 толкает стрелку 6 и оставляет ее на делении шкалы 4, соответствующем величине израсходованной энергии. Качающийся после удара маятник затормаживают натяжением ремня 7 с помощью рукоятки 8.

По величине работы (энергии), израсходованной на разрушение образца вычисляют ударную вязкость каждого образца. По результатам испытаний нескольких однотипных образцов определяют среднее значение ударной вязкости:

$$KS_{ch} = \frac{KS_1 + KS_2 + \dots + KS_n}{n}.$$

В выводах необходимо указать характер разрушения образцов и сравнить результаты для образцов из различных материалов.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Эскиз образца, схема маятникового копра.
3. Результаты испытаний.
4. Вычисление величины ударной вязкости.
5. Анализ результатов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется ударной вязкостью материала и что она характеризует?
2. Как определяется ударная вязкость стали?
3. Для чего образцы изготавливаются с надрезом?
4. От чего зависит величина ударной вязкости и для каких материалов она больше?
5. Влияет ли форма надреза на величину ударной вязкости?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ КОЛЕБАНИИ

Цель работы: ознакомление с методом электромагнитного возбуждения колебаний, экспериментальное определение собственной частоты поперечных колебаний консольной балки, построение резонансной кривой.

Основные сведения

При изучении колебаний упругие системы принято различать по числу степеней свободы. Под **числом степеней свободы** понимается число независимых параметров (координат), определяющих положение системы.

При исследовании упругих колебаний различают собственные (свободные) и вынужденные колебания.

Собственными (свободными) называют колебания, возникшие вследствие внешнего возбуждения и продолжающиеся затем благодаря наличию внутренних упругих сил, восстанавливающих равновесие. Вследствие наличия сил сопротивления колебательному движению во всех реальных механических системах собственные колебания всегда затухают.

Вынужденными называют колебания, происходящие под действием периодически изменяющихся возмущающих сил, действующих непрерывно. В отличие от собственных вынужденные колебания не затухают, хотя имеют место силы сопротивления.

Наибольший интерес представляют вынужденные колебания.

Пусть на систему с одной степенью свободы действует возмущающая сила, изменяющаяся во времени по периодическому закону:

$$H(t) = H_0 \sin(pt)$$

где H_0 – максимальное значение возмущающей силы (амплитуда);

p - круговая частота.

Масса « m » системы одновременно участвует в двух колебательных движениях: собственном и вынужденном. Собственные колебания, из-за наличия затухания, через некоторое время практически исчезают. Поэтому уравнение движения массы « m » для установившегося состояния выглядит следующим образом:

$$y = A_d \sin(pt + \psi) \quad A_d = A_{ст} \beta$$

A_d – амплитуда колебаний; ψ - сдвиг фазы;

$A_{ст}$ – перемещение, которое получила бы масса m , если бы к ней статически была приложена сила H_0 ;

β – коэффициент усиления при колебаниях, который определяется по формуле:

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{p^2}{k^2}\right)^2 + \frac{4n^2}{k^2} \frac{p^2}{k^2}}}$$

$$k = \sqrt{\frac{c}{m}} = \sqrt{\frac{g}{\delta_T}}$$

Здесь круговая частота собственных колебаний системы:

n - параметр затухания;

c - жесткость системы (численно равна силе, вызывающей единичное перемещение);

δ_T - статическое перемещение под действием силы тяжести сосредоточенной массы;

g - ускорение свободного падения.

На рис.11.1 показаны зависимости $\beta = f\left(\frac{p}{k}\right)$ для нескольких значений n :

при $n \rightarrow 0$ и $p/k = 1$ $\beta \rightarrow \infty$. Это означает, что амплитуда вынужденных колебаний A_D неограниченно возрастает. При $n \neq 0$ (наличие затухания) величина β остается ограниченной, но в зоне совпадения частот имеет максимальное значение. Явление, заключающееся в повышении амплитуды A_D при совпадении частот собственных колебаний и возмущающей силы ($p = k$) называется **резонансом**.

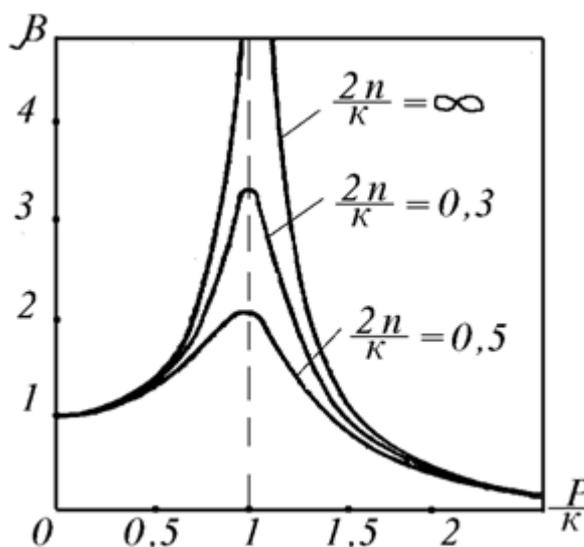


Рисунок 11.1

Напряжения при вынужденных колебаниях, определяются по формуле:

$$\sigma_D = \sigma_{CT} \beta$$

где σ_{CT} — напряжение при статическом действии амплитудного значения возмущающей силы H_0 .

Отстройку от резонанса можно осуществить изменением жесткости упругих элементов системы или изменением массы системы.

Кроме того, уменьшить амплитуду перемещений A_d и напряжений $\sigma_{ст}$ можно при помощи демпферов, увеличив параметр n .

В каждой точке детали, работающей при колебаниях, происходит периодическое изменение напряжений, что может привести к усталостному разрушению. Это вызывает необходимость расчета детали на усталость.

Собственную частоту колебаний системы можно определить экспериментально. Для этого на систему необходимо воздействовать небольшой по величине переменной силой. Частоту воздействия этой силы плавно изменяют в широком диапазоне. Замеряя амплитуду колебаний (y) при различных значениях частоты возмущающей силы строят график $y = f(p)$ (рис.11.2).

Частота собственных колебаний k определяется по резонансной кривой из условия $k = p$ при значении $y = y_{max}$.

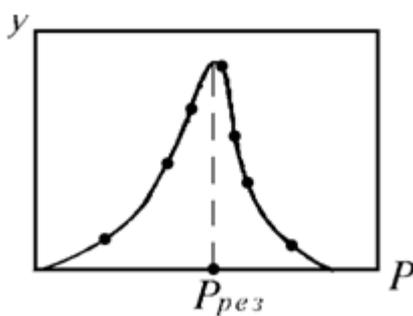


Рисунок 11.2

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Работа выполняется на установке с электромагнитным возбуждением колебаний.

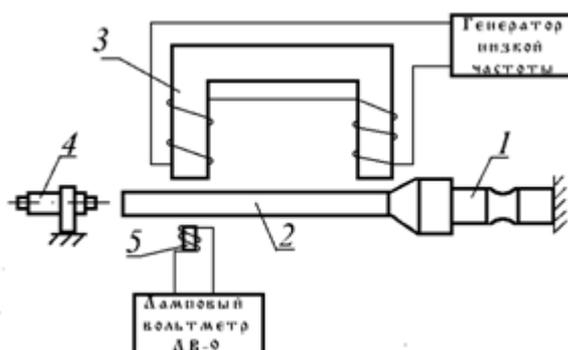


Рисунок 11.3

Колебательная система состоит из упругого элемента (1) выполненного в виде образца для испытаний на усталость, и якоря (2), выполняющего роль колеблющейся массы. Переменное (по частоте и знаку) напряжение от генератора низкой частоты подается на катушку электромагнитного преобразователя (3). Переменный ток вызывает в катушке переменный магнитный поток, частота которого равна частоте тока. Так как направление силы, возникающей в катушке с током, не зависит от направления тока, то магнитный поток будет притягивать якорь с удвоенной частотой (в положительный и отрицательный полупериоды изменения тока). Таким образом, за один цикл изменения магнитного потока в катушке, балка совершит два колебания. Амплитуда колебаний якоря измеряется микроскопом (4) или с помощью лампового вольтметра (типа ЛВ-9), напряжение на вход которого подается от индуктивного датчика перемещений (5).

Порядок выполнения работы:

1. Включить генератор низкой частоты.
2. Замерить амплитуду колебаний при различных частотах возмущающей силы. Замеры производятся в 3—5 точках до резонанса, в 3—5 точках за резонансом и в момент резонанса. Полученные данные заносятся в таблицу наблюдений.
3. Путем увеличения массы якоря "отстроиться" от резонанса. Найти новое значение частоты собственных колебаний и занести его в таблицу.
4. Быстро изменяя частоту возмущающей силы убедиться, что амплитуда колебаний при переходе через резонанс не успевает "раскачаться" до значения $U_{рез}$.
5. По полученным данным построить резонансную кривую в координатах: частота колебаний возмущающей силы (тока) — амплитуда колебаний (см. рис. 11.2) и по значению $y = y_{max}$ определить собственную частоту.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Размеры балки.
3. Осевой момент инерции сечения балки.
4. Статический прогиб балки от действия груза.
5. Теоретическое и опытные значения частоты собственных колебаний системы.
6. Процент расхождения между теоретическим и опытными значениями частот собственных колебаний системы.
7. Опытное значение коэффициента затухания колебаний.
8. Вывод по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. От чего зависит частота собственных колебаний одно массовой системы? По какой формуле она определяется?
2. Какие колебания называются вынужденными? Каково условие возникновения резонанса?
3. Какие факторы влияют на величину динамического коэффициента колебаний?
4. По каким формулам определяются напряжения и перемещения при колебаниях?
5. Как объяснить, что частота колебаний балки оказывается вдвое больше частоты переменного тока в катушке?
6. Какими методами можно отстроиться от резонанса?
7. Какой цикл переменных напряжений испытывают крайние волокна колеблющейся консольной балки?

Список использованных источников

1. Александров, А.В. Сопротивление материалов / А.В. Александров, В.Д. Потапов, Б.Т. Державин. – М.: Высшая школа, 2005. – 560 с.
2. Писаренко, Г.С. Сопротивление материалов. 4-е изд., перераб. и доп. / Г.С. Писаренко, В.А. Агарев, А.Л. Квитка, В.Г. Попков, Э.С. Уманский. – Киев.: Высшая школа, 1979. – 696 с.
3. Ромашов, Р.В. Сопротивление материалов: учебное пособие / Р.В. Ромашов. – 2-е изд., испр. и доп. – ИПК ГОУ ОГУ, 2007. – 284 с.
4. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов / В.И. Феодосьев. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 592 с.

Оформление титульного листа лабораторной работы

Кумертауский филиал
федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»
(Кумертауский филиал ОГУ)

Кафедра *общих математических и естественнонаучных дисциплин*

ОТЧЕТ

по лабораторной работе №1

Определение основных механических характеристик материалов при растяжении

по курсу «Сопротивление материалов»

Руководитель

_____ Сорокина О.А.

«____» _____ 2012г.

Исполнитель

студент гр. 11ЭТКМ(б)ААХ

_____ Иванов И.И.

«____» _____ 2012г.

Кумертау 2012