ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Сопротивление материалов»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ по сопротивлению материалов

(Лабораторные работы № 1а, 1б, 2а, 2б, 3, 4)

Ростов-на-Дону

2008

УДК 30.19.51

Составители: д.ф.-м.н., проф. А.Н.Соловьёв,
д.т.н., проф. Л.М.Грошев,
к.т.н., проф. В.П.Большенко,
к.т.н., доц. И.Н.Вислоусова,
к.т.н., доц. М.Р.Галаджева,
к.т.н., доц. А.И.Михалев,
к.т.н., доц. В.С.Сигидиненко,
к.т.н., доц. В.В.Терликов,
к.т.н., доц. С.А.Юниченко

Методические указания к выполнению лабораторных работ по сопротивлению материалов. (Лабораторные работы № 1а, 1б, 2а, 2б, 3, 4): - / Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ, 2008, - 30 с.

Приведены основные положения теории, описание испытательных установок и указания к выполнению лабораторных работ.

Печатается по решению методической комиссии факультета МО АПК.

Рецензент проф. И.А.Краснобаев

Научный редактор проф. А.Н.Соловьёв

УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Перед выполнением работ студенты проходят инструктаж по технике безопасности и расписываются в ведомости о прохождении инструктажа.

2. Лабораторные работы выполняются в соответствии с рабочей программой курса по каждой специальности.

3. При подготовке к выполнению лабораторной работы студент должен изучить соответствующие разделы курса, цель, содержание и методику выполнения работы, устройство и принцип работы испытательных машин, установок и приборов.

4. Журнал лабораторных работ ведется индивидуально. С каждым студентом проводится собеседование по выполненной работе.

5. В связи с тем, что испытательная техника в лаборатории проградуирована в системе МКС, использована следующая система перевода единиц измерения в системе МКС и СИ:

- сила – 1 кгс = 10 Н,
- напряжение – 1 кгс/см^2 = 0,1 МПа = 10^5 Н/м^2,
- момент – 1 кгс·см = 0,1 Н·м,
- сила веса: создаваемая массой 1 кг = 10 Н.

Лабораторная работа №1-а

Испытание на растяжение стального образца

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

1.1. Общие сведения

Для испытания на растяжение используется образец круглого сечения диаметром d = 10 мм в соответствии с ГОСТ 1491-84, показанный на рис. 1.1. На образце имеются две риски, расстояние между которыми соответствует расчетной длине образца l_0 = 100 мм.

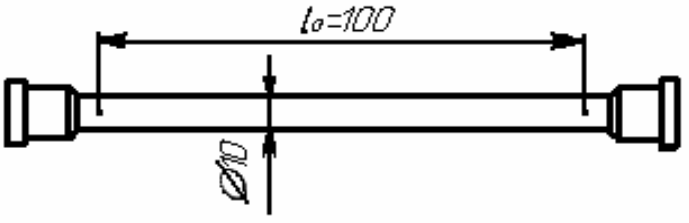


Рис. 1.1

Испытания проводятся на универсальной испытательной машине УИМ – 50.

Диаграммы растяжения, получаемые на испытательных машинах, могут иметь вид, показанный на рис. 1.2.

Диаграмма 1 типична для малоуглеродистых сталей, диаграмма 2 – для высококачественных легированных сталей.

На диаграммах: ОА – зона упругости, АВ – зона общей текучести (для высококачественных сталей не обнаруживается), ВС – зона упрочнения и начало образования шейки – местное сужение образца, СД – зона местной текучести.

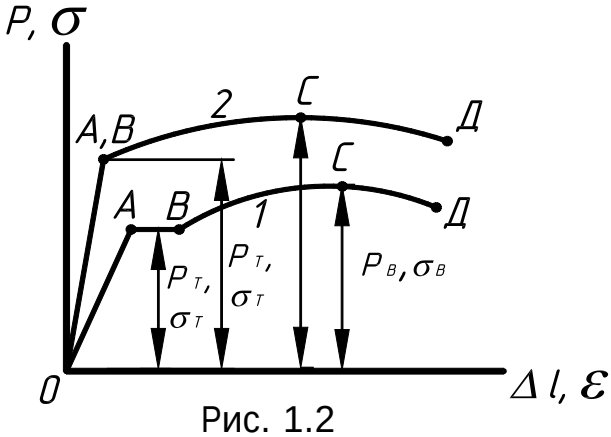


Рис. 1.2

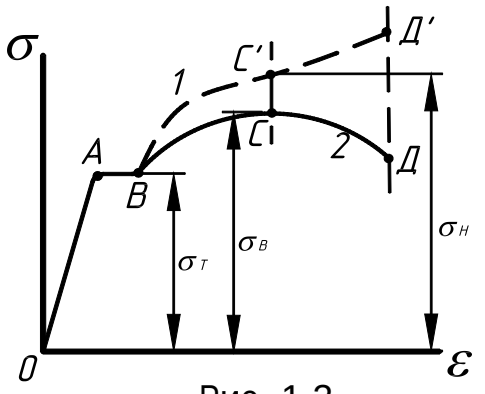


Рис. 1.3

При испытании образца необходимо определить следующие основные механические характеристики материала.

Предел текучести – напряжение, при котором происходит рост деформации без заметного увеличения нагрузки

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0}$$

где P_T – нагрузка, соответствующая пределу текучести; F_0 – площадь сечения образца до нагружения.

В тех случаях, когда на диаграмме отсутствует площадка текучести, в качестве предела текучести принимают напряжение, при котором остаточная относительная деформация $\varepsilon_{ост}$ =0,2%. В этом случае

$$\sigma_T = \sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}$$

Практически нагрузку, соответствующую условному пределу текучести $P_{0,2}$, рекомендуется определять по месту перелома диаграммы (точки А, В, рис. 1.2).

Предел прочности или временное сопротивление – это отношение максимальной силы P_B, которую выдерживает образец, к первоначальной площади поперечного сечения F_0:

$$\sigma_B = \frac{P_B}{F_0}$$

где P_B – нагрузка, соответствующая пределу прочности; σ_B – условная величина, т. к. точка С диаграммы соответствует появлению шейки в образце.

Истинные напряжения в месте образования шейки значительно больше расчетных:

$$\sigma_И = \frac{P_B}{F}$$

где F – площадь сечения образца в месте образования шейки.

На рис. 1.3 показана диаграммы истинных – 1 и условных – 2 напряжений, из которых видно, что в момент разрыва (точка Д) истинные напряжения значительно больше условных.

Средняя остаточная относительная деформация после разрыва вычисляется по формуле

$$\delta_{ост.} = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100\%,$$

где l – расстояние между рисками после разрыва; l_0 – расчетная длина.

1.2. Порядок проведения работы

В процессе проведения испытания к образцу прикладывается медленно возрастающая растягивающая нагрузка до разрушения образца.

Диаграммный аппарат вычерчивает диаграмму растяжения в координатах: нагрузка P – абсолютное удлинение Δl. Масштабы: оси нагрузок - μ_p = 50 кг/мм = 0,49 кн/мм; оси удлинений - $\mu_{\Delta l}$ = 0,5 мм/мм.

После проведения испытаний необходимо измерить диаметр шейки образца d и расстояние между рисками l.

Примерный вид диаграммы показан на рис. 1.4.

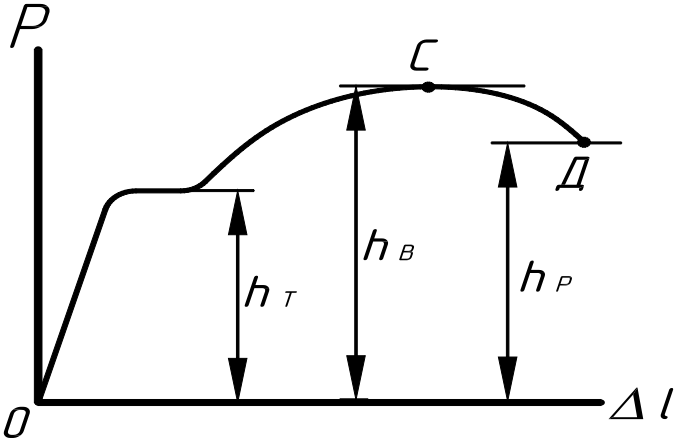


Рис.1.4

Из диаграммы определяются:

а) нагрузки, соответствующие пределу текучести $P_T = h_T \cdot \mu_P$ и пределу прочности $P_P = h_P \cdot \mu_P$;

б) масштаб напряжений $\mu_\sigma = \frac{\mu_p}{F_0}$;

в) истинное напряжение в момент разрыва

$$\sigma_И = \frac{P_P}{F}$$

которое сравнивается с условным

$$\sigma_У = \frac{P_P}{F_0}$$

1.3. Образец отчета

Лабораторная работа №1-а

Испытание на растяжение стального образца

1.3.1. Цель работы:

1.3.2. Испытательная установка:

Универсальная испытательная машина УИМ – 50.

1.3.3. Форма и размеры образца (рис.1.1).

1.3.4. Результаты испытаний

Таблица 1.1

До испытания	После испытания
$d_0 =$ м	$d =$ м
$l_0 =$ м	$l =$ м
$F_0 =$ $м^2$	$F =$ $м^2$
$\delta_{ост.} = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100\%$	

Диаграмма растяжения

Вычисления:

$P_T = h_T \cdot \mu_P =$, $P_B = h_B \cdot \mu_P =$, $P_P = h_P \cdot \mu_P =$,

$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0} =$, $\sigma_B = \frac{P_B}{F_0} =$,

$\sigma_И = \frac{P_P}{F} =$, $\sigma_У = \frac{P_P}{F_0} =$, $\frac{\sigma_И}{\sigma_У} = \frac{d_0^2}{d^2} =$.

Таблица 1.2

P_T , кН	P_B , кН	P_P , кН	σ_T , МПа	σ_B , МПа	$\sigma_И$, МПа	$\sigma_У$, МПа	$\sigma_И / \sigma_У$

Предполагаемая марка стали (табл. 1.3)

1.3.5. Выводы:

Работу принял _____

«____»_____200 г

Примечание: в выводах необходимо отметить:

как происходит разрушение образца;

какова величина относительного удлинения при разрушении;

совпадает ли диаграмма растяжения с диаграммой истинных напряжений;

почему истинные напряжения больше условных.

Таблица 1.3

Основные механические характеристики для различных марок сталей

Марка стали	Предел прочности σ_B, МПа	Предел текучести σ_T , МПа	Относительное удлинение δ, %
Сталь 0	320-470	190	22
Сталь 1	320-400	---	33
Сталь 2	340-420	220	31
Сталь 3	380-400	240	27
	410-430		26
Сталь 4	420-440	260	26
	450-480		20
	490-520		23
Сталь 5	500-530	280	21
	540-570		20
	580-620		19
Сталь 6	600-630	310	15
	640-670		14
	680-720		13
Сталь 7	700-740	---	11
	750-790		10
	800 и более		9

Лабораторная работа № 1-б

Испытание на сжатие стального и чугунного образцов

Цель работы: изучение характера разрушения образцов, построение диаграммы сжатия, определение основных механических характеристик материалов.

1.4. Общие сведения

Для испытания на сжатие используются образцы цилиндрической формы, показанные на рис. 1.5.

В зависимости от того, какой материал испытывается – пластичный или хрупкий, диаграммы сжатия имеют различный вид. На рис. 1.6 показаны типичные диаграммы сжатия чугуна (1) и малоуглеродистой стали (2).

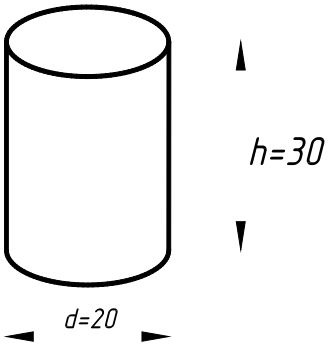


Рис.1.5

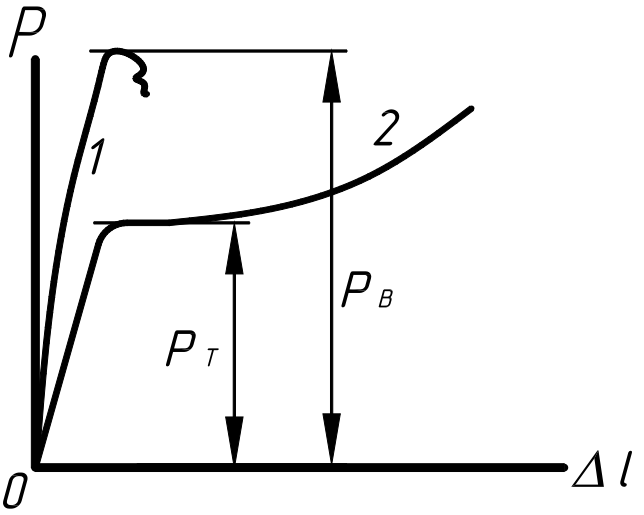


Рис.1.6

При сжатии стального образца обнаруживается площадка текучести с последующим переходом к зоне упрочнения. В дальнейшем образец приобретает бочкообразную форму, и довести его до разрушения практически нельзя. Для стального образца определяем предел текучести:

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0},$$

где F_0 – площадь сечения образца до приложения нагрузки.

При сжатии чугунного образца на диаграмме не наблюдается площадки текучести, поэтому можно определить только предел прочности:

$$\sigma_B = \frac{P_B}{F_0}.$$

1.5. Порядок проведения работы

Испытания образцов проводятся на универсальной испытательной машине УИМ-35.

В процессе проведения испытаний к образцу прикладывается медленно возрастающая сжимающая нагрузка до разрушения или появления бочкообразной формы. Диаграммный аппарат вычерчивает диаграмму сжатия в координатах: сжимающая нагрузка P – абсолютное укорочение Δl. Масштаб оси нагрузок μ_p = 350 кг/мм = 3,43 кН/мм, масштаб оси укорочений $\mu_{\Delta l}$ = 0,25 мм/мм.

После проведения испытаний необходимо зарисовать картину разрушения образцов, определить нагрузки из диаграммы сжатия:

$$P_T = h_T \cdot \mu_P, \qquad P_B = h_B \cdot \mu_P,$$

где h_T , h_B – ординаты диаграммы, соответствующие площадке текучести или разрушающей нагрузке.

Величины нагрузок, а также результаты определения σ_B и σ_T заносятся в таблицу 1.4.

По результатам испытаний необходимо сделать выводы.

1.6. Образец отчета

Лабораторная работа №1-б

Испытание на сжатие стального и чугунного образцов

1.6.1. Цель работы:

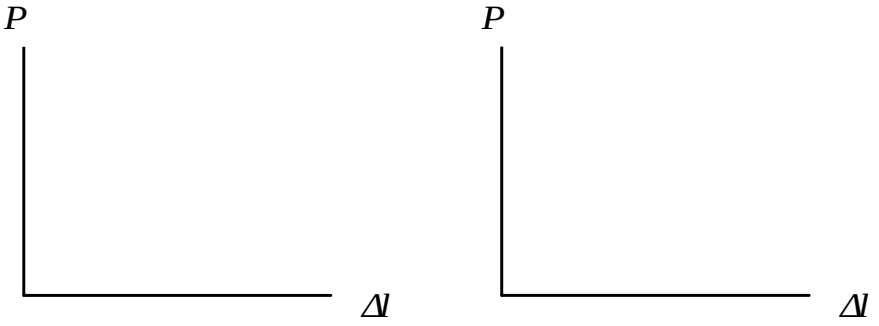
1.6.2. Испытательная установка:

Универсальная испытательная машина УИМ – 35.

1.6.3. Форма и размеры образцов (рис.1.5).

1.6.4. Характер разрушения образцов (эскизы).

1.6.5. Диаграммы сжатия:



Стальной образец Чугунный образец

1.6.6. Вычисления:

$P_T = h_T \cdot \mu_P =$ $P_B = h_B \cdot \mu_P =$

$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0} =$ $\sigma_B = \frac{P_B}{F_0} =$

1.6.7. Результаты испытаний

Таблица 1.4

Материал образца	F_0 , м^2	P_T , кН	σ_T , МПа	P_B, кН	σ_B , МПа
Сталь				---	---
Чугун		---	---		

1.6.8. Выводы:

Работу принял _____

"____"_____200 г.

Примечание: в выводах необходимо отметить:

как происходит разрушение образцов;

почему невозможно определить предел прочности при сжатии стального образца;

почему отсутствует предел текучести у чугуна.

1.7. Контрольные вопросы

1.В каких координатах строится диаграмма растяжения?

2.Что называется пределом пропорциональности, пределом текучести, пределом прочности (временным сопротивлением)?

3.Какие деформации называются упругими и какие остаточными (пластическими)?

4.Что называется остаточным относительным удлинением образца и остаточным относительным сужением шейки образца. Какое свойство материала они характеризуют?

5.Какое явление называется наклепом?

6.Чем для стали отличается диаграмма сжатия от диаграммы растяжения?

7.В чем отличие поведения стального и чугунного образцов при сжатии?

8.Чем отличаются диаграммы сжатия пластичного и хрупкого материалов?

9.Какие механические характеристики определяют при сжатии пластичного и хрупкого материалов?

Лабораторная работа № 2

Определение модуля упругости и коэффициента Пуассона стали при растяжении

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

2.1. Общие сведения

Абсолютное удлинение стержня при растяжении – сжатии (рис. 2.1) в пределах упругих деформаций определяется по формуле:

$$\Delta l = \frac{P \cdot l}{E \cdot F} \quad , \qquad (2.1)$$

где P – продольная (нормальная) сила; l – расчетная длина образца; E – модуль продольной упругости (модуль упругости при растяжении); F – площадь поперечного сечения образца.

Из формулы (2.1) можно найти величину модуля упругости, определив опытным путем абсолютное удлинение образца Δl:

$$E = \frac{P \cdot l}{\Delta l \cdot F} \qquad (2.2)$$

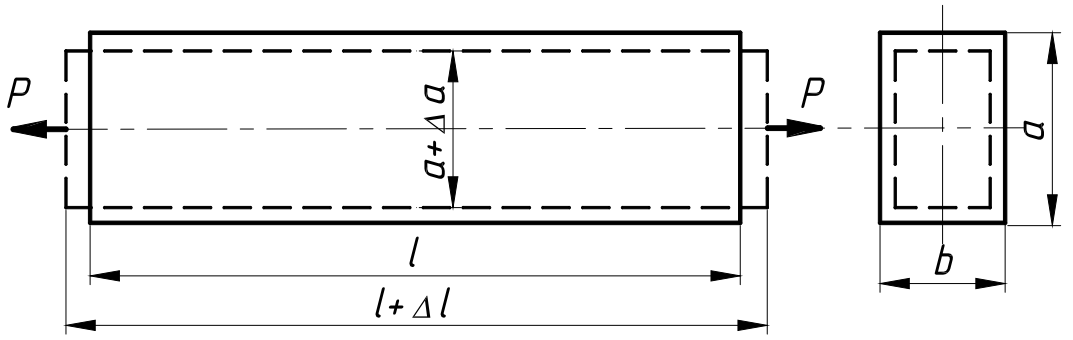


Рис. 2.1

Следовательно, первая часть лабораторной работы заключается в определении абсолютного удлинения образца Δl на некоторой расчетной длине l.

Коэффициентом Пуассона называется абсолютная величина отношения относительной поперечной деформации $\varepsilon' = \frac{\Delta a}{a}$ к относительной продольной деформации $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ (рис. 2.1). Следовательно, если определить одновременно продольную и поперечную деформации образца, то можно вычислить величину коэффициента Пуассона:

$$\mu = \left| \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \right|. \qquad (2.3)$$

Модуль упругости E и коэффициент Пуассона μ характеризуют упругие свойства материала и определяются экспериментально. Для различных материалов коэффициент Пуассона изменяется от нуля (для пробки) до величины, близкой к 0,5 (для резины и парафина).

Для стали модуль упругости E принимает значения в пределах (1,8 - 2,2)·10^5 МПа, коэффициент Пуассона μ - в пределах (0,25 - 0,33).

2.2. Лабораторная работа № 2а

Определение модуля упругости и коэффициента Пуассона при растяжении с помощью механических тензометров

2.2.1. Описание установки тензометров

Величина абсолютного удлинения и сужения образца (рис. 2.2) определяются при помощи рычажных тензометров Гугенбергера. Растяжение образца производится при помощи испытательной машины ИМ-4Р.

Чтобы исключить влияние неравномерного растяжения образца в случае неточной его установки в захватах машины, на образце закрепляют по два тензометра (по одному с каждой стороны), как показано на рис. 2.2. При этом тензометры 1 и 2 измеряют деформации в продольном направлении, а 3 и 4 – в поперечном направлении.

Величину модуля упругости вычисляют по формуле (2.2), а коэффициента Пуассона - по формуле (2.3).

2.2.2. Порядок проведения работы № 2а

1.Убедиться, что рычажные тензометры сняты с предохранителей.
2.Нагрузить образец предварительной нагрузкой P_0 = 500 кг (5 кН).
3.Снять показания с тензометров и записать в журнал наблюдений (табл. 2.1).
4.Нагрузить образец нагрузкой P = 2000 кг (20 кН).
5.Снять показания с тензометров и записать в журнал наблюдений (табл. 2.1).

Испытания проводятся три раза, затем находятся разности отсчетов по каждому испытанию и средняя разность отсчетов для всех испытаний по каждому тензометру.

Обработка результатов проводится в последовательности, представленной в таблице 2.2.

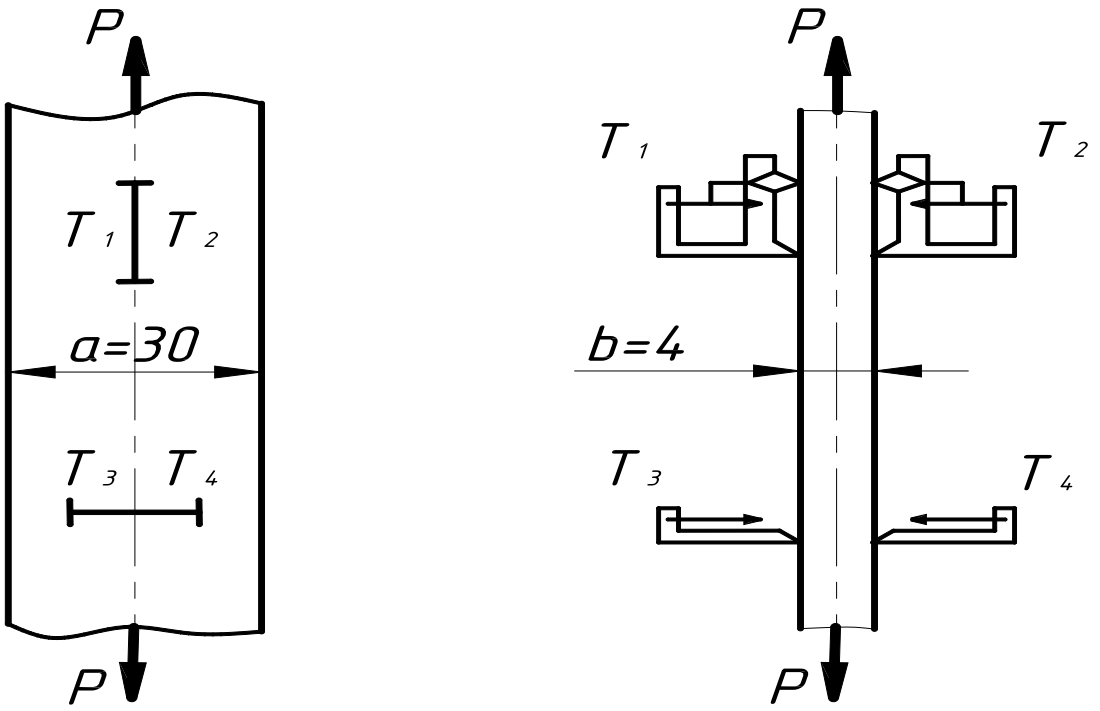


Рис.2.2

2.3. Образец отчета

Лабораторная работа №2-а

Определение модуля упругости и коэффициента Пуассона с помощью механических тензометров

2.3.1. Цель работы:
2.3.2. Схема испытательной установки (рис. 2.2)
2.3.3. Результаты испытаний

Таблица 2.1

№ испыт	Нагрузка P, кг (кН)	Продольные деформации				Поперечные деформации			
		T_1		T_2		T_3		T_4	
		отсчет n, (дел)	разность отсчетов Δn, (дел)	отсчет n, (дел)	разность отсчетов Δn, (дел)	отсчет n, (дел)	разность отсчетов Δn, (дел)	отсчет n, (дел)	разность отсчетов Δn, (дел)
1	500 (5)								
	2000 (20)								
2	500 (5)								
	2000 (20)								
3	500 (5)								
	2000 (20)								

2.3.4. Обработка результатов испытаний

Таблица 2.2

	Расчетная формула	Тензометры			
		T_1	T_2	T_3	T_4
Средняя разность (дел)	$\Delta n = \frac{\Delta n_1 + \Delta n_2 + \Delta n_3}{3}$				
Абсолютное удлинение или укорочение (мм) на ступень нагружения ΔP=1500 кг (15 кН)	$\Delta l_i = \Delta n_i \cdot k = \Delta n_i \cdot 10^{-3}$				
Среднее абсолютное удлинение (укорочение) (мм)	$\Delta l_C = \frac{\Delta l_1 + \Delta l_2}{2}$				
	$\Delta l'_{CP} = \frac{\Delta l_3 + \Delta l_4}{2}$				
Относительная продольная (поперечная) деформация	$\varepsilon = \frac{\Delta l_{CP}}{S}$				
	$\varepsilon' = \frac{\Delta l'_{CP}}{S}$				
Коэффициент Пуассона	$\mu = \left\|\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}\right\|$				
Модуль упругости (кг/см^2) (МПа)	$E = \frac{\Delta P}{F} \cdot \frac{1}{\varepsilon}$				

Здесь: k = 10^{-3} – цена деления тензометра;

$\Delta P = P - P_0 = 1500$ кг (15 кН) – ступень нагружения;

ε – относительная продольная деформация;

ε’ – относительная поперечная деформация;

S = 20 мм – база тензометра;

$F = a \cdot b = 3 \cdot 0.4 = 1{,}2 см^2 = 1{,}2 \cdot 10^{-4} м^2$ - площадь поперечного сечения образца.

2.3.5. Выводы:

Примечание: в выводах необходимо отметить, находятся ли полученные экспериментальным путем величины модуля упругости и коэффициента Пуассона в пределах табличных данных или нет.

2.4. Лабораторная работа № 2-б

Определение модуля упругости и коэффициента Пуассона при растяжении с помощью электрических тензометров сопротивления (тензорезисторов)

2.4.1. Описание испытательной установки

Схема испытательной установки для определения модуля упругости E и коэффициента Пуассона μ представлена на рис. 2.3.

Испытания проводятся на том же образце, что и в работе 2а. На образец 1 (рис.2.3, б) наклеены четыре электрических тензометра: R_1 , R_2 – для измерения продольных деформаций; R_3 , R_4 – для измерения поперечных деформаций. Схема расположения тензометров изображена на рис. 2.3, б. Тензометры R_1' и R_2' наклеены на балку тарировочную 2 (рис. 2.3, а).

Тензометры R_1 , R_2 , R_3 , R_4 включены в мостовую схему тензометрического усилителя УТ4-1, как показано на рис. 2.3, в. С помощью ручек грубой и плавной регулировки 5 и 6 можно добиться баланса измерительного моста, когда миллиамперметр mA покажет отсутствие тока на выходе усилителя.

При нагружении образца изменяются сопротивления R_1 , R_2 тензометров, произойдет разбаланс измерительного моста, миллиамперметр при этом покажет наличие тока на выходе усилителя.

Если при помощи винта 3 нагрузить балку 2, то изменяются сопротивления R_1' и R_2' наклеенных на неё тензометров. Когда сопротивления R_1 , R_2 и R_1' и R_2' станут одинаковыми, то снова наступит баланс измерительного моста и миллиамперметр покажет отсутствие тока. В этом случае относительные деформации нагруженных волокон балки 2 и образца 1 будут одинаковыми.

Из теории изгиба известно, что относительная деформация нагруженных волокон балки равна:

$$\varepsilon = \frac{\delta \cdot f}{L^2}, \qquad (2.4)$$

где δ = 0,3 см = 0,3·10^{-2} м – толщина балки; f – прогиб балки; L = 29 см = 0,29 м - расчетная длина (рис. 2.3, а).

Измерив при помощи индикатора 4 прогиб f, по формуле (2.4) можно вычислить относительную деформацию балки, численно равную относительной деформации образца.

Для измерения продольной деформации образца используется третий канал тензометрического усилителя, для измерения поперечной деформации – четвертый.

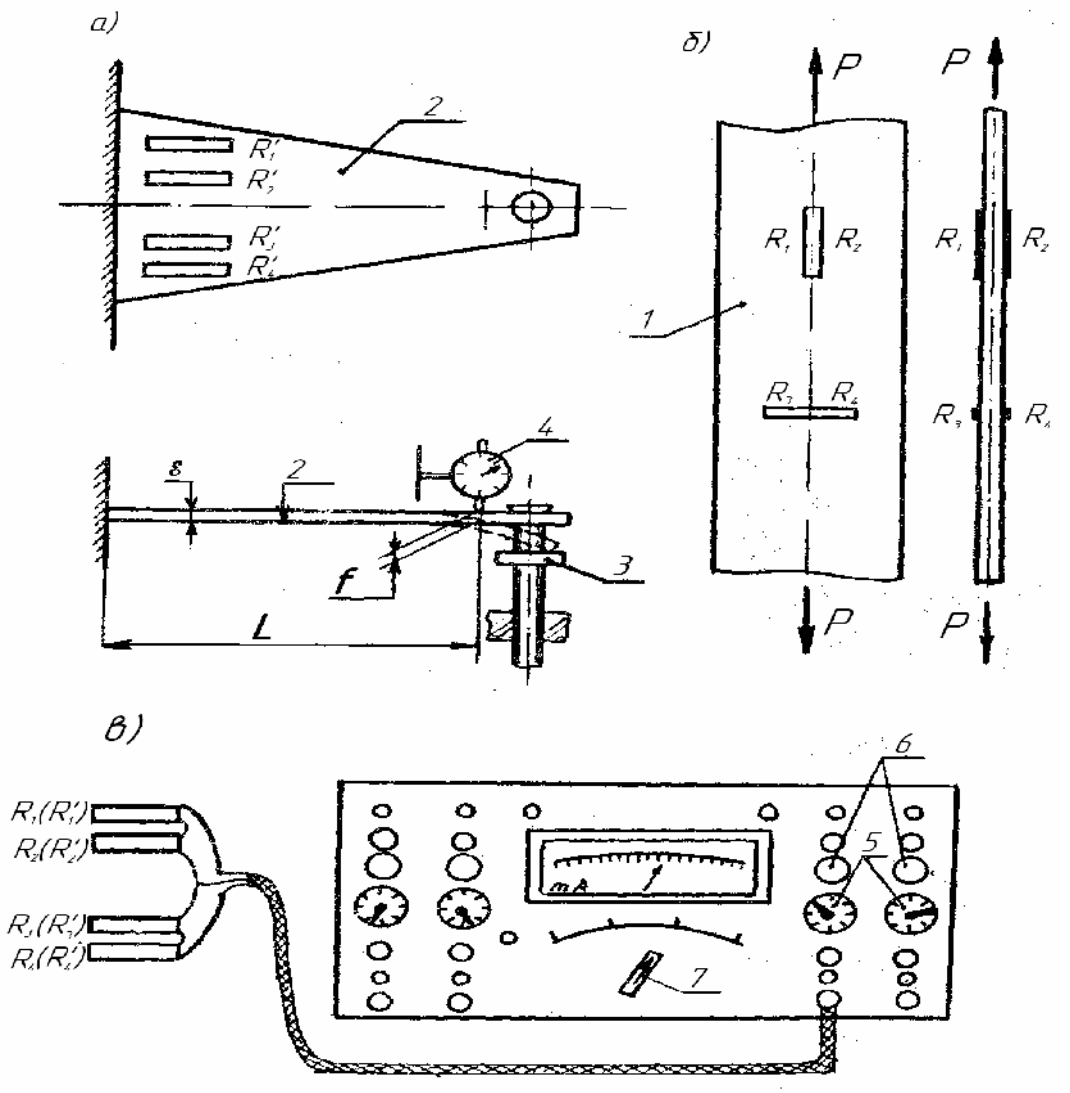


Рис.2.3

2.4.2. Порядок проведения работы № 2-б

1. Включить усилитель и прогреть его в течение 30 минут.
2. С помощью переключателя 7 на усилителе подключить миллиамперметр mA (рис. 2.3) к третьему каналу для определения продольных деформаций.
3. Нагрузить образец 1 (рис. 2.3, б) начальной нагрузкой P_0 = 500 кг (5 кН).

4. С помощью винта 3 (рис. 2.4, а) установить большую стрелку индикатора 4 в нулевое положение и занести показание в журнал наблюдений в графе "отсчет" для продольных деформаций при нагрузке P = 500 кг (5 кН) (табл. 2.3).

5. Вращая ручки 5 и 6 усилителя (рис. 2.3, в), установить стрелку миллиамперметра mA в нулевое положение.

6. Нагрузить образец 1 нагрузкой P = 1000 кг (10 кН).

7. Вращая винт 3, установить стрелку миллиамперметра mA в нулевое положение и записать показание индикатора 4 в журнал наблюдений в графе "отсчет" для продольных деформаций при нагрузке P = 1000 кг (10 кН).

8. С помощью переключателя 7 (рис. 2.3, в) на усилителе подключить миллиамперметр mA к четвертому каналу для определения поперечных деформаций.

Далее пункты 3, 4, 5, 6, 7 повторяются; при этом показания индикатора 4 записываются в журнал наблюдений (табл. 2.3) в графе "отсчет" для поперечных деформаций.

Обработку результатов эксперимента проводим в последовательности, представленной в таблице 2.4.

Результаты испытаний с помощью механических и электрических тензометров записываем в таблицу 2.5. Определяем расхождение между полученными значениями модуля упругости и коэффициента Пуассона.

2.5. Образец отчета

Лабораторная работа №2-б

Определение модуля упругости и коэффициента Пуассона с помощью электрических тензометров

2.5.1. Цель работы:

2.5.2. Схема испытательной установки (рис.2.3, а; 2.3, б).

2.5.3. Результаты испытаний

Таблица 2.3

№ испы-тания	Нагрузка P, кг (кН)	Показания индикатора			
		для продольных деформаций (канал 3)		для поперечных деформаций (канал 4)	
		отсчет n, (дел)	разность отсчетов Δn, (дел)	отсчет n,(дел)	разность отсчетов Δn, (дел)
1	500 (5)				
	1000 (10)				
2	500 (5)				
	1000 (10)				
3	500 (5)				
	1000 (10)				

2.5.4. Обработка результатов испытаний.

Таблица 2.4

	Расчетная формула	Расчеты по показаниям индикатора для	
		продольных деформаций	поперечных деформаций
Средняя разность отсчетов (дел)	$\Delta n = \frac{\Delta n_1 + \Delta n_2 + \Delta n_3}{3}$		
Прогиб балки на ступень нагружения ΔP=500 кг (мм)	$\Delta f \cdot \Delta n \cdot k = \Delta n \cdot 10^{-2}$		
Относительная продольная (поперечная) деформация	$\varepsilon = \frac{\Delta f \cdot \delta}{L^2}$		
	$\varepsilon' = \frac{\Delta f' \cdot \delta}{L^2}$		
Коэффициент Пуассона	$\mu = \left\|\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}\right\|$		
Модуль упругости (кг/см^2 или МПа)	$E = \frac{\Delta P}{F} \cdot \frac{1}{\varepsilon}$		

Здесь: k =10^{-2} мм– цена деления индикатора;

$\Delta P = P - P_0$=1000-500=500 кг (5 кН) – ступень нагружения.

2.5.5. Таблица сравнения величин коэффициента Пуассона и модуля упругости с помощью механических и электрических тензометров

Таблица 2.5

Способ определения	Механические тензометры	Электрические тензометры	Расхождение, %
Коэффициент Пуассона			
Модуль упругости (кг/см^2 или МПа)			

2.5.6. Выводы:

Работу принял _____

«____»_____200 г.

Примечание: в выводах необходимо отметить, находятся ли полученные экспериментально коэффициент Пуассона и модуль упругости в пределах табличных данных, а также, на сколько расходятся величины μ и E, найденные с помощью механических и электрических тензометров.

2.6. Контрольные вопросы

1.Что называется коэффициентом Пуассона, какова его размерность?
2.В каких пределах может изменяться коэффициент Пуассона?

3.Из какой формулы можно определить модуль упругости?

4.Какова размерность модуля упругости?

5.Чему равен модуль упругости для стали?

6.Как устроен механический тензометр Гугенбергера?

7.Каков порядок проведения испытаний с помощью механического тензометра?

8.Как устроен электротензометр (тензометр)?

9.Какова схема измерения деформаций с помощью моста Уитстона?

10.Каков порядок проведения испытаний с помощью электротензометра?

11.Как устроен индикатор часового типа?

Лабораторная работа № 3

Исследование распределения нормальных напряжений при плоском изгибе

Цель работы: Экспериментальное исследование закона распределения нормальных напряжений по сечению балки и сравнение полученных результатов с нормальным напряжением, вычисленным теоретически.

3.1. Теоретическое определение нормальных напряжений

Объект испытаний - балка прямоугольного поперечного сечения, расположенная шарнирно на опорах (рис. 3.1).

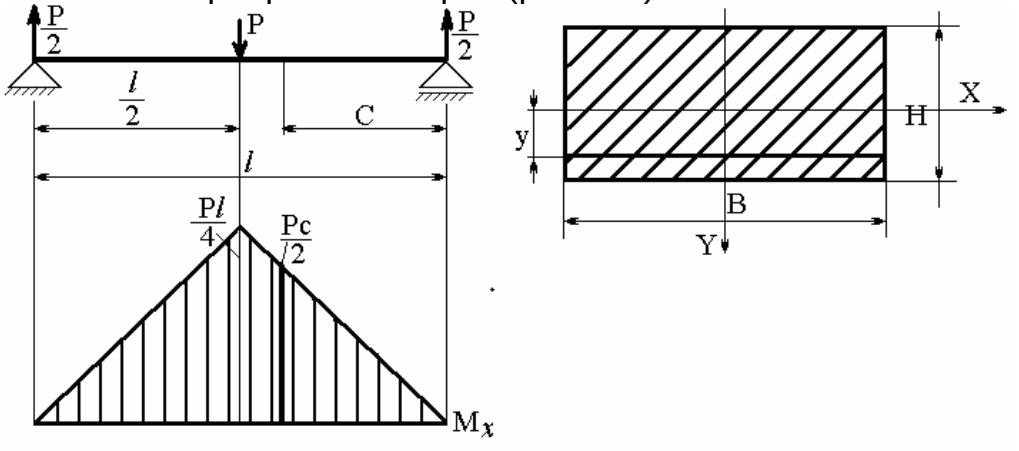


Рис. 3.1

Нормальные напряжения в поперечном сечении балки определяются по формуле:

$$\sigma = \frac{M_X}{J_X} \cdot y \,, \qquad (3.1)$$

где M_x – изгибающий момент в сечении балки;

J_x – момент инерции поперечного сечения балки относительно оси X;

y – расстояние от нейтральной линии (оси X) до продольного слоя, в котором определяются напряжения.

Напряжения определяются в сечении балки, расположенном на расстоянии C от правой опоры (рис. 3.1).

Изгибающий момент в рассматриваемом сечении:

$$M_C = \frac{P \cdot c}{2} \tag{3.2}$$

тогда нормальное напряжение в сечении C:

$$\sigma = \frac{P \cdot c}{2J_x} \cdot y \tag{3.3}$$

Определяем напряжения в слоях I, II, III, IV, V поперечного сечения балки (рис. 3.2) с координатами:

$$y_I = -\frac{H}{2}, \quad y_{II} = -\frac{H}{4}, \quad y_{III} = 0, \quad y_{IV} = \frac{H}{4}, \quad y_V = \frac{H}{2}. \tag{3.4}$$

Напряжения будут равны:

$$\sigma_I = -\frac{P \cdot \cdot}{4J_x}, \ \sigma_{II} = -\frac{P \cdot \cdot}{8J_x}, \ \sigma_{III} = 0, \ \sigma_{IV} = \frac{P \cdot \cdot}{8J_x}, \ \sigma_V = \frac{P \cdot \cdot}{4J_x} \tag{3.5}$$

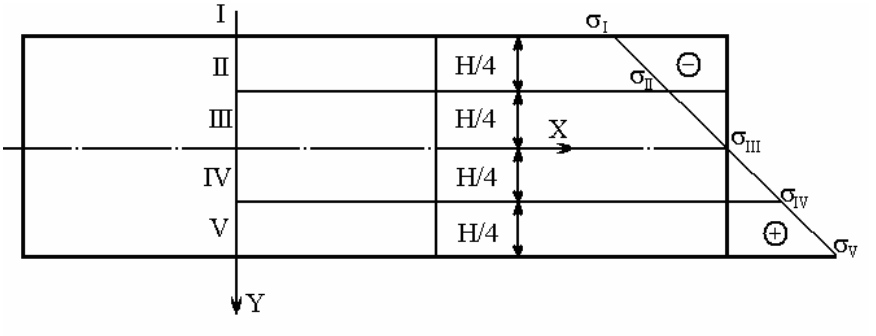


Рис. 3.2

По вычисленным напряжениям строим график (рис. 3.2). Нормальные напряжения распределяются линейно по высоте сечения балки.

3.2. Описание экспериментальной установки

Работа выполняется на испытательной машине ИМ-4А. Максимальное усилие, развиваемое машиной, равняется 4000кг (40 кН).

Для измерения напряжений на испытываемую балку наклеивается пять электрических тензометров, схема расположения которых указана на рис. 3.3

Для снятия показаний электрических тензометров используется тензометрический усилитель УТ 4-I (рис. 3.4). Электрические тензометры R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 поочередно включают в полумостовую схему тензометрического усилителя при помощи переключателя П. Другим плечом измерительного полумоста является магазин сопротивлений R_M типа МСР-5. Усилитель УТ 4-I имеет на выходе измерительный прибор (миллиамперметр), регистрирующий разбаланс измерительного моста, а следовательно, механические напряжения в испытываемой балке.

Показания миллиамперметра можно пересчитать в механические напряжения при помощи масштабного коэффициента.

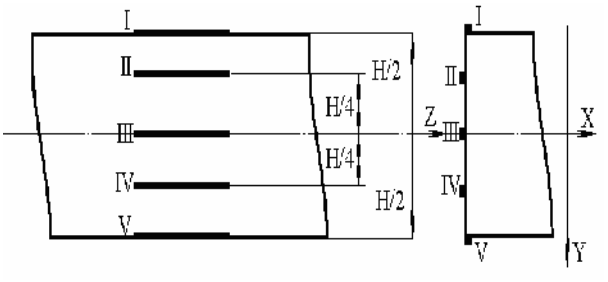


Рис. 3.3

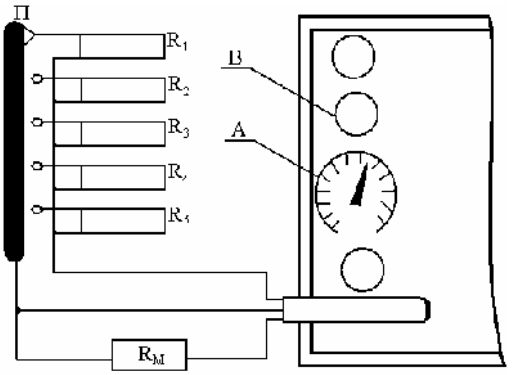


Рис. 3.4

3.3. Подготовка измерительной аппаратуры к работе

3.3.1. Включить установку в сеть и прогреть аппаратуру в течение 20 -30 минут.

3.3.2. Переключатель П (рис. 3.4) поставить в положение 3, а магазин сопротивления R_M установить на величину 122 Ом. Рукояткой грубой настройки А усилителя добиться, чтобы отклонение стрелки миллиамперметра было как можно ближе к нулю. Затем ручкой плавной настройки В усилителя установить стрелку миллиамперметра на ноль.

3.4. Тарировка измерительного устройства

Для перевода показаний миллиамперметра в механические напряжения необходимо определить цену деления (масштаб) шкалы миллиамперметра. Для этого в одно из плеч измерительного моста (магазин сопротивлений) необходимо ввести дополнительное калибровочное сопротивление ΔR_T. Это вызовет разбаланс измерительного моста и соответствующее отклонение стрелки миллиамперметра ΔJ_T.

По величине калибровочного сопротивления ΔR_T можно вычислить величину механического напряжения, создающего разбаланс измерительного моста:

$$\sigma_T = \frac{\Delta R_T \cdot E}{K \cdot R_M}, \qquad (3.6)$$

где R_M =122 Ом – сопротивление магазина, равное сопротивлению тензометров; K =2,05– коэффициент тензочувствительности тензометра; E =2·10^6 кг/см^2 (2·10^5 МПа) – модуль упругости материала балки; ΔR_T =0,1 Ом задается магазином сопротивления.

Масштаб μ шкалы миллиамперметра определяется по формуле:

$$\mu = \frac{\sigma_T}{\Delta J_T}, \qquad (3.7)$$

где $\Delta J_T = J_0 - J_T$ – показания миллиамперметра на ступень нагружения балки; J_0 - показание миллиамперметра при R_M=122 Ом; J_T – показание миллиамперметра после увеличения сопротивления R_M на величину ΔR_T =0,1 Ом.

Зная масштаб, можно вычислить механические напряжения, возникающие в балке:

$$\sigma_i = \mu \cdot \Delta J_{Ti} \quad . \tag{3.8}$$

3.5. Порядок проведения работы

3.5.1. По размерам поперечного сечения балки вычислить осевой момент инерции J_x (таблица 3.1).

3.5.2. По формулам (3.5) вычислить теоретические напряжения в исследуемом сечении балки и записать в табл. 3.3.

3.5.3. Произвести нагружение балки предварительной нагрузкой P_0=200 кг (2 кН).

3.5.4. При установленном ранее сопротивлении R_M=122 Ом для тензометра 3 вращением рукояток А и В усилителя (рис. 3.4) добиться, чтобы стрелка прибора находилась в нулевом положении.

Записать в таблицу 3.2 величину R_M и J_{P0}=0.

3.5.5. Увеличить сопротивление магазина на величину калибровочного сопротивления ΔR_T=0,1 Ом и записать величину J_{P0}, затем переключатель магазина вернуть в прежнее положение. Произвести тарировку измерительного устройства (см. раздел 3.4).

3.5.6. С помощью переключателя П (рис. 3.4) подключить тензометры 1, ..., 5 к усилителю и, не вращая ручки А и В усилителя, установить минимальный ток миллиамперметра изменением сопротивления магазина R_M. Записать в табл. 3.2 значения R_M и J_{P0} для каждого тензометра.

3.5.7. Произвести нагружение балки нагрузкой P=1200 кг (12 кН).

3.5.8. С помощью переключателя П подключить поочередно тензометры 1,...,5 к усилителю, установить сопротивление магазина, согласно табл. 3.2, для каждого тензометра и записать показания J миллиамперметра.

3.5.9. Разгрузить балку до нагрузки P_0=200 кг (2 кН).

3.5.10. Повторить трехкратное нагружение и разгружение балки, делая соответствующие записи в табл. 3.2.

3.5.11. По данным табл. 3.2 для каждого тензометра определить:

а) средние значения тока, mA

$$J_{P_0,ср} = \frac{J_{P_0 1} + J_{P_0 2} + J_{P_0 3}}{3} = \qquad J_{ср} = \frac{J_1 + J_2 + J_3}{3} =$$

б) среднее приращение тока, mA:

$$\Delta J_{ср} = J_{ср} - J_{P_0 ср} .$$

3.5.12. Для каждого тензометра определить напряжение

$$\sigma_i = \mu \cdot \Delta J_{ср_i}$$

в кг/см^2 и МПа и занести полученные результаты в табл. 3.2.
3.5.13. По данным табл. 3.3 для каждой исследуемой точки поперечного сечения балки определить расхождение между теоретическими и экспериментальными напряжениями:

$$\delta = \frac{\sigma_{теор} - \sigma_{эксп}}{\sigma_{теор}} \cdot 100\% =$$

3.5.14. Оформить отчет по прилагаемой форме.

3.6. Образец отчета

Лабораторная работа №3

Исследование распределения нормальных напряжений при плоском изгибе

3.6.1. Цель работы:
3.6.2. Испытательная установка:
Испытательная машина ИМ-4А, магазин сопротивлений МСР-5, тензометрический усилитель УТ 4-1.
3.6.3. Схема нагружения балки (рис. 3.1) и размеры балки

Таблица 3.1

l, см	C, см	B, см	H, см	$J_x = \frac{BH^3}{12}$, см^4
60	27	6	3	

3.6.4. Схема расположения тензометров в сечении балки (рис. 3.3).
3.6.5. Теоретическое определение нормальных напряжений в сечении балки:

y=-H/2:	$\sigma_I =$	кг/см^2 (МПа)
y=-H/4:	$\sigma_{II} =$	кг/см^2 (МПа)
$y_{III} = 0$:	$\sigma_{III} = 0$	кг/см^2 (МПа)
y=H/4:	$\sigma_{IV} =$	кг/см^2 (МПа)
y=H/2:	$\sigma_V =$	кг/см^2 (МПа)

3.6.6. Тарировка измерительного устройства:
R_M = Ом, ΔR_T = Ом, $\Delta J_T = J_0 - J_T$ = mA.

Тарировочное напряжение: $\sigma_T = \frac{\Delta R_T E}{K R_M}$ = кг/см^2 (МПа).

Масштаб шкалы миллиамперметра: $\mu = \frac{\sigma_T}{\Delta J_T}$ = кг/см^2/mA (МПа/ mA).

3.6.7. Результаты измерений и расчетов (табл. 3.2).

Таблица 3.2

№ тен-зо-мет-ра	R_M, Ом	P_0=200 кг (2 кН)				P=1200 кг (12 кН)				$\Delta J_{cp} = J_{cp} - J_{P0cp}$	$\sigma = \mu \cdot \Delta J_{cp}$ кг/см^2	σ, МПа
		J_{P0}, mA			J_{P0cp} mA	J, mA			$J_{ср}$, mA			
		1	2	3		1	2	3				
		повторности				повторности						
I	122	0	0	0	0							
II												
III												
IV												
V												

3.6.8. Вычисление экспериментальных напряжений в сечениях балки:

$$\sigma_I = \mu \cdot \Delta J_{cp}^{I} = \quad , \qquad \sigma_{II} = \mu \cdot \Delta J_{cp}^{II} = \quad , \qquad \sigma_{III} = \mu \cdot \Delta J_{cp}^{III} = \quad ,$$

$$\sigma_{IV} = \mu \cdot \Delta J_{cp}^{IV} = \quad , \qquad \sigma_V = \mu \cdot \Delta J_{cp}^{V} = \quad .$$

3.6.9. Сравнение теоретических и экспериментальных напряжений

Таблица 3.3

Значения теоретических и экспериментальных напряжений в сечениях балки

№ тенз.	y	$\sigma_{теор}$, МПа	$\sigma_{эксп}$, МПа	δ, %
I	-H/2			
II	-H/4			
III	0			
IV	H/4			
V	H/2			

3.6.10. Графики распределения теоретических и экспериментальных напряжений в поперечном сечении балки (рис. 3.2).

3.6.11. Выводы:

Работу принял_____

“____”_____200 г.

Примечание: в выводах необходимо отметить следующее:

как распределяются нормальные напряжения по высоте сечения балки;

где нормальные напряжения достигают максимальных значений;

каково расхождение между теоретическими и экспериментальными значениями и чем оно вызвано.

3.7. Контрольные вопросы

1.Чему равны осевые моменты сопротивления и осевые моменты инерции для балок прямоугольного и круглого поперечных сечений?

2.Объясните принцип работы электрического тензометра?

3.Как вычисляются теоретические нормальные напряжения при изгибе?
4.Какие внутренние силовые факторы возникают при плоском изгибе?
5.Нарисуйте график распределения нормальных напряжений для балок прямоугольного, двутаврового и круглого поперечных сечений?
6.Как записывается условие прочности при изгибе?

Лабораторная работа № 4

Исследование концентрации напряжений

Цель работы: Экспериментальное исследование распределения нормальных напряжений в поперечных сечениях полосы, ослабленной вырезами; определение теоретического коэффициента концентрации напряжений.

4.1. Общие сведения

При растяжении-сжатии стержня нормальные напряжения в любом поперечном сечении распределяются равномерно, если по длине поперечные сечения постоянны.

При резких изменениях формы или размеров поперечного сечения стержня (наличие поперечных отверстий, выточек, надрезов и т.п.) происходит неравномерное распределение напряжений в сечении, т. е. возникает концентрация напряжений – местное увеличение напряжений. Факторы, вызывающие концентрацию напряжений (отверстия, выточки, вырезы), называют концентраторами напряжений. Максимального значения напряжения достигают в области концентратора напряжений.

Количественной характеристикой концентрации напряжений является теоретический коэффициент концентрации α_σ, равный отношению наибольшего местного напряжения σ_{max} к номинальному напряжению $\sigma_{ном}$.:

$$\alpha_\sigma = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{ном}} \qquad (4.1)$$

Номинальное напряжение $\sigma_{ном}$ – это напряжение, которое возникло бы в сечении, ослабленном концентратором, без учета эффекта концентрации.

Теоретический коэффициент концентрации показывает, во сколько раз увеличивается напряжение в зоне концентратора по сравнению с номинальным.

При растяжении полосы, ослабленной вырезами (рис. 4.1), напряжения в сечении 2-2 (достаточно удаленном от концентратора) распределяются равномерно; их вычисляют по формуле:

$$\sigma = \frac{P}{F} \quad , \qquad (4.2)$$

где $F=F_2$ – площадь неослабленного сечения 2-2.

В сечении 1-1, ослабленном вырезами, напряжения распределяются неравномерно, возрастая к краям полосы и убывая к середине. Номинальное напряжение в ослабленном сечении равно:

$$\sigma_{ном} = \frac{P}{F_1} \qquad (4.3)$$

где F_1 – площадь ослабленного сечения 1-1.

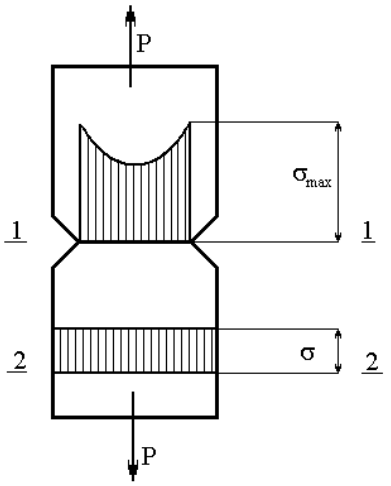


Рис. 4.1

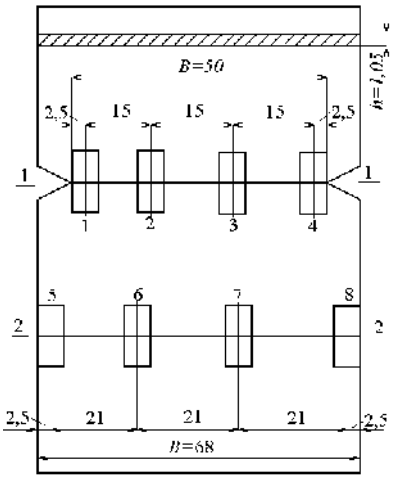


Рис. 4.2

Значения теоретического коэффициента концентрации напряжений α_σ приводятся в справочной литературе в зависимости от вида концентратора. Выбрав соответствующее значение теоретического коэффициента концентрации напряжении α_σ и определив номинальное напряжение $\sigma_{ном}$, можно рассчитать наибольшее напряжение, которое возникает в ослабленном сечении:

$$\sigma_{\max} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_{ном}. \qquad (4.4)$$

4.2. Описание экспериментальной установки

Работа выполняется на универсальном прессе УП-5 (рис. 4.3). Пресс УП-5 состоит из станины 2, малого рычага 3, большого рычага с противовесами 4, подвески для гирь 5, набора гирь 6, зажимов для образца 7, механизма регулировки 8. В зажимах установлен объект испытаний – полоса с вырезами 1. Пресс УП-5 установлен на столе 9.

Для определения напряжений в разных сечениях на полосу наклеиваются 8 электрических тензометров сопротивления. Размеры полосы и схема расположения тензометров указаны на рис. 4.2.

Электрические тензометры R_1, ..., R_8 поочередно включают в полумостовую схему тензометрического усилителя УТ 4-1 (рис. 4.4) при помощи переключателя П. Другим плечом измерительного полумоста является магазин сопротивлений типа МСР-5. Усилитель УТ 4-1 имеет на выходе измерительный прибор (миллиамперметр), регистрирующий

разбаланс измерительного моста, а следовательно, деформации в испытываемой полосе. По показаниям миллиамперметра определяют механические напряжения при помощи масштабного коэффициента.

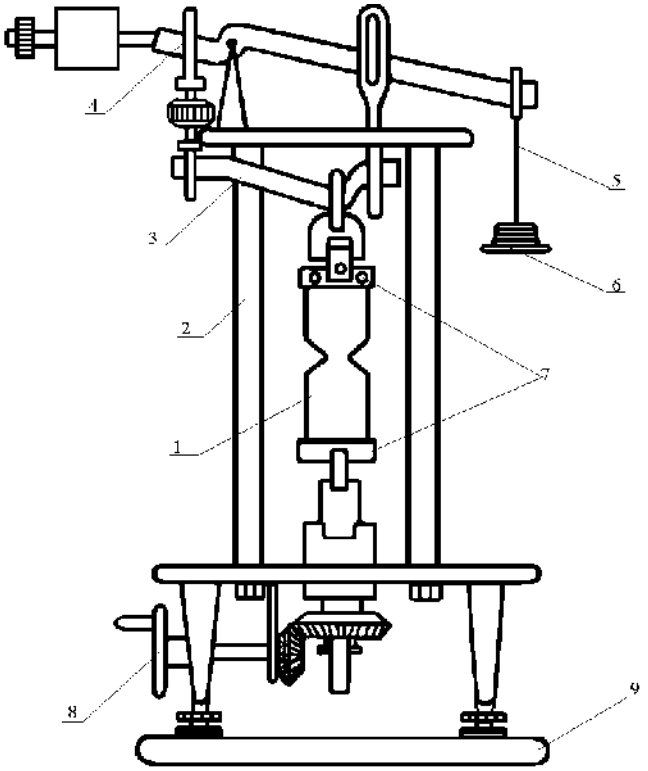


Рис. 4.3

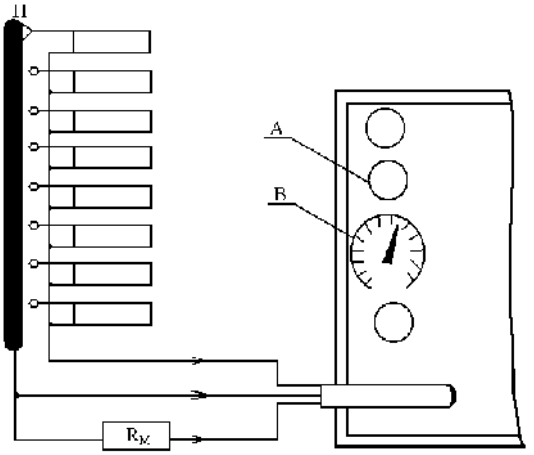


Рис.4.4

4.3. Тарировка измерительного устройства

Для перевода показаний миллиамперметра в механические напряжения необходимо определить цену деления (масштаб) шкалы миллиамперметра. Для этого в одно из плеч измерительного моста (магазин сопротивлений) необходимо ввести дополнительное сопротивление ΔR_T . Принимаем ΔR_T=0,1 Ом. Это вызовет разбаланс измерительного моста и соответствующее отклонение стрелки миллиамперметра ΔJ_T.

По величине калибровочного сопротивления ΔR_T вычисляют величину механического напряжения, создающего такой же разбаланс измерительного моста:

$$\sigma_T = \frac{\Delta R_T \cdot E}{K \cdot R_M}, \qquad (4.5)$$

где R_M=R_T – сопротивление магазина сопротивлений, равное сопротивлению тензометра; K=2,05–коэффициент тензочувствительности тензометра; E=2·10^5 – модуль упругости материала полосы.

Масштаб μ шкалы миллиамперметра определяется по формуле:

$$\mu = \frac{\sigma_T}{\Delta J_T} \text{ (МПа/mA)} \quad . \qquad (4.6)$$

Зная масштаб, определяют механические напряжения в испытуемом образце

$$\sigma = \mu \cdot \Delta J \text{ (МПа)}, \qquad (4.7)$$

где ΔJ – отклонение стрелки миллиамперметра на одну ступень нагружения образца (ступень нагружения соответствует прикладываемой растягивающей силе).

4.4. Порядок проведения работы

4.4.1. Включить усилитель в сеть и прогреть его в течение 20-30 мин.
4.4.2. Нагрузить образец предварительной нагрузкой P_0=1500 Н, для чего на подвес 5 пресса УП-5 установить гири массой 3 кг.
4.4.3. С помощью переключателя П (рис 4.4) подключить тензометр 1 к усилителю для тарировки миллиамперметра (тарировку можно производить на любом тензометре).
4.4.4. Установить сопротивление магазина R_M=200 Ом (в соответствии с паспортными данными тензометра) и вращением ручек А и В усилителя добиться того, чтобы стрелка миллиамперметра находилась в нулевом положении. Записать показание магазина сопротивлений $R_M = R_T$.
4.4.5. Увеличить сопротивление магазина на ΔR_T=0,1 Ом и записать показание миллиамперметра ΔJ_T.
4.4.6. Установить на магазине сопротивлений первоначальное сопротивление R_M=200 Ом и нулевой ток на миллиамперметре. Записать показания R_M и J_0 в табл. 4.2.
4.4.7. С помощью переключателя П (рис. 4.4) подключить поочередно тензометры 2, ..., 8 к усилителю и, не вращая ручки А и В усилителя, установить минимальный ток миллиамперметра изменением сопротивления магазина R_M. Записать в табл. 4.2 значения R_M и J_0 для всех 8 тензометров.
4.4.8. Нагрузить образец усилием P=5000 Н, для чего на подвес 5 установить гири массой 10 кг.
4.4.9. С помощью переключателя П подключить поочередно тензометры 1, ..., 8 к усилителю, установить сопротивление магазина согласно табл. 4.2 для каждого тензометра и записать показания J миллиамперметра.
4.4.10. Повторить трехкратное нагружение и разгружение образца, делая записи соответствующих показаний в табл. 4.2.
4.4.11. Определить масштаб шкалы миллиамперметра: $\mu = \frac{\sigma_T}{\Delta J_T} =$
4.4.12. По данным таблицы 4.2 определить для каждого тензометра:

а) средние значения показаний миллиамперметра, mA:

$$J_{0cp} = \frac{J_{01} + J_{02} + J_{03}}{3} = \quad , \qquad J_{cp} = \frac{J_1 + J_2 + J_3}{3} = \quad ,$$

б) среднее приращение тока, mA: $\Delta J = J_{cp} - J_{0cp} =$,

в) величины механических напряжений, МПа: $\sigma = \mu \cdot \Delta J =$.

4.4.13. Определить номинальное напряжение в ослабленном сечении полосы:

$$\sigma_{ном} = \frac{P - P_0}{b \cdot h}, МПа$$

где P-P_0=3500 Н – ступень нагружения образца.

4.4.14. Построить эпюры напряжений в сечениях 1-1 и 2-2, как показано на рис. 4.5. Эпюры напряжений в крайних точках сечений необходимо достроить, продолжая графики, построенные по данным таблицы 4.2.

4.4.15. По графикам напряжений в сечении 1-1 (с учетом масштаба чертежа) определить σ_{max1} и σ_{max2}.

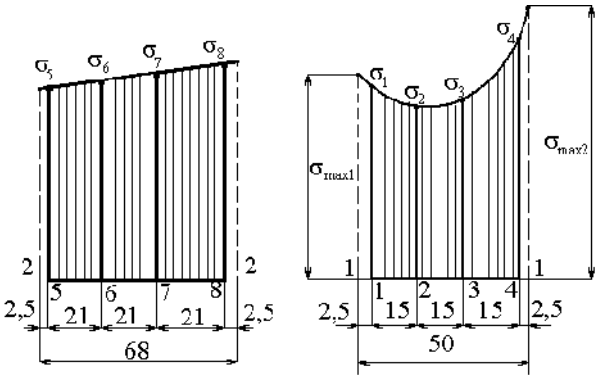


Рис. 4.5

4.4.16. Определить значения теоретического коэффициента концентрации в зоне каждого выреза полосы:

$$\alpha_{\sigma 1} = \frac{\sigma_{\max 1}}{\sigma_{ном}} \qquad \alpha_{\sigma 2} = \frac{\sigma_{\max 2}}{\sigma_{ном}}$$

4.4.17. Оформить отчет по прилагаемой форме.

4.5. Образец отчета

Лабораторная работа №4

Исследование концентрации напряжений

4.5.1. Цель работы:

4.5.2. Испытательная установка:

Универсальный пресс УП-5, магазин сопротивлений МСР-5, тензометрический усилитель УТ 4-1.

4.5.3. Схема установки электрических тензометров (рис. 4.3) и размеры полосы

Таблица 4.1

Толщина полосы h, мм	1,05
Ширина полосы в неослабленном сечении b, мм	68
Ширина полосы в ослабленном сечении b, мм	50
Площадь в неослабленном сечении F_2, м^2	
Площадь в ослабленном сечении F_1, м^2	

4.5.4. Тарировка (определение масштаба шкалы миллиамперметра усилителя):

$R_M = R_T =$ (Ом), $\Delta R_T =$ (Ом),

$\Delta J_T =$ (mA),

$E = 2 \cdot 10^5$ (МПа), $K = 2{,}05$.

Тарировочное напряжение $\sigma_T = \dfrac{\Delta R_T \cdot E}{K \cdot R_M} =$ (МПа).

Масштаб шкалы миллиамперметра $\mu = \dfrac{\sigma_T}{\Delta J_T} =$ (МПа/mA).

Таблица 4.2

Результаты испытаний и расчетов

№ тензометра	R_M, Ом	P_0=1500 Н				P=5000 Н					
		J_0, mA			J_{0cp}, mA	J, mA			$J_{ср}$ mA	$\Delta J = J_{cp} - J_{0cp}$ mA	$\sigma = \mu \cdot \Delta J_{cp}$ МПа
		1	2	3		1	2	3			
		повторности				повторности					
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											

4.5.5. Графики напряжений.

4.5.6. Теоретические коэффициенты концентрации напряжений:

$$\alpha_{\sigma 1} = \frac{\sigma_{\max 1}}{\sigma_{ном}}, \qquad \alpha_{\sigma 2} = \frac{\sigma_{\max 2}}{\sigma_{ном}}.$$

4.5.7. Выводы

Работу принял_____

“____”_____200 г.

Примечание: в выводах необходимо отметить следующее:

как распределяются напряжения в ослабленном и неослабленном сечениях полосы;

увеличивает или уменьшает прочность детали наличие концентратора напряжений;

можно ли рассчитывать на прочность детали без учета концентрации напряжений.

4.6. Контрольные вопросы

1.Как определить нормальное напряжение в неослабленном сечении полосы при растяжении?
2.Что такое концентратор напряжений (примеры) и концентрация напряжений?
4.Как распределяются нормальные напряжения в неослабленном сечении полосы при растяжении?
5.Что такое номинальное напряжение?
6.Как распределяются нормальные напряжения в ослабленном сечении полосы (в зоне концентрации)?
7.Что такое теоретический коэффициент концентрации напряжений?
8.Увеличивает или уменьшает прочность детали наличие концентраторов напряжений?