

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального
образования
Ульяновский государственный университет

Руководство к выполнению лабораторных работ по сопротивлению материалов

Методические указания

УЛЬЯНОВСК
2009

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального
образования
Ульяновский государственный университет

Руководство
к выполнению лабораторных работ
по сопротивлению материалов
Часть 1

Методические указания

Составители: И.С. Антонов
Г.В. Беликов

Ульяновск
2009

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
Правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ по сопротивлению материалов	5
Лабораторная работа № 1 «Тарировка тензорезисторов»	6
Лабораторная работа № 2 «Определение модуля продольной упругости (модуля Юнга) и коэффициента Пуассона»	12
Лабораторная работа № 3 «Исследование напряженно-деформированного состояния стержня при кручении»	17
Лабораторная работа № 4 «Исследование напряженно-деформированного состояния балки при плоском изгибе».....	22
Библиографический список	29

Введение

В данных методических указаниях представлены лабораторные работы по сопротивлению материалов, связанные с ознакомлением с методами тензометрирования, с изучением напряжённо-деформированного состояния (НДС) стержня при растяжении – сжатии, кручении и изгибе.

Перед выполнением лабораторной работы необходимо проработать теоретический материал по данной теме, изучить применяемое оборудование и инструмент, продумать последовательность проведения эксперимента, подготовить бланк отчёта и ответов на конкретные вопросы.

Оформленный бланк отчёта должен включать основные теоретические предпосылки опыта, схему установки, таблицы с опытными и теоретическими результатами.

Правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ по сопротивлению материалов

Перед началом работы необходимо:

- ознакомиться с руководством к лабораторной работе и получить соответствующий инструктаж для её выполнения;
- проверить исправность оборудования и инструмента;
- проверить исправность заземления.

Установку образцов производить только при выключенном оборудовании. Подключение стендов к электрической сети и включение установок может быть осуществлено только с разрешения и под наблюдением преподавателя или лаборанта.

Подстройка стенда во время проведения опыта категорически запрещается.

При несчастном случае:

- немедленно выключить стенд из электросети;
- оказать первую помощь пострадавшему;
- сообщить руководителю занятий;
- при необходимости вызвать скорую помощь.

Перед выполнением комплекса лабораторных работ каждый студент должен расписаться в журнале по технике безопасности.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ТАРИРОВКА ТЕНЗОРЕЗИСТОРОВ*

1.1. Цель работы

Ознакомление с одним из наиболее распространённых методов замера перемещений в деталях машин – методом электротензометрирования, основанном на изменении электрического сопротивления материала при его деформировании. В данной работе необходимо произвести тарировку тензорезисторов, т.е. определить число единиц деформации (напряжений) в единице шкалы измерительного прибора.

1.2. Оборудование

Балка равного сопротивления с наклеенными тензорезисторами, микрометр, измеритель деформации ИТЦ-01.

Тензорезистор (лат. *tendere* – напрягать + *resistere* – сопротивляться) – устройство для измерения перемещений на основе изменения его электрического сопротивления.

1.3. Краткие теоретические сведения

Тензорезисторы широко применяются при экспериментальных исследованиях НДС конструкций. Принцип измерения перемещений с помощью тензорезисторов состоит в изменении его активного сопротивления при деформировании.

Конструктивно тензорезистор представляет собой элемент из тензочувствительного материала (проволоки, фольги и т.п.), наклеенный на исследуемую деталь (рис. 1.1). Кроме основного (деформативного) фактора

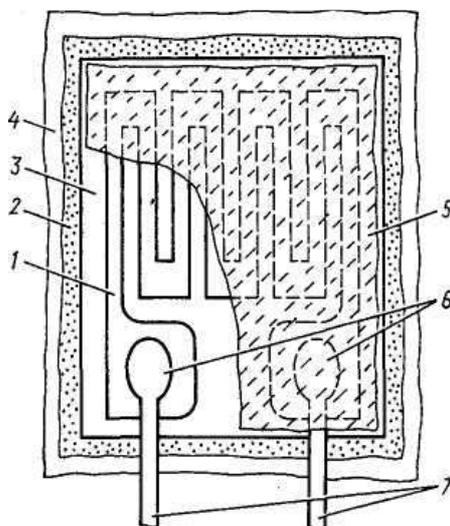


Рис. 1.1 Схема тензорезистора:

1 — чувствительный элемент; 2 — связующее; 3 — подложка; 4 — исследуемая деталь; 5 — защитный элемент; 6 — узел пайки (сварки); 7 — выводные проводники

на изменение сопротивления тензодатчика влияют и другие условия эксперимента (время, температура и т.д.), которые при необходимости следует учитывать.

* Тензорезистор (лат. *tendere* – напрягать + *resistere* – сопротивляться) – устройство для измерения перемещений на основе изменения его электрического сопротивления.

Для измерения статических перемещений наиболее распространённой является плоская петлевая форма намотки тензочувствительного материала (рис. 1.2). В качестве материала тензорезисторов обычно берут металлические сплавы (константан, нихром, хромель и др.) или полупроводники, поскольку они должны удовлетворять целому ряду специфических требований (чувствительность, температурный диапазон, ползучесть и т. д.). Диаметр проволоки колеблется в пределах 10...30 мкм; база 2...100 мм; сопротивление 50...400 Ом.

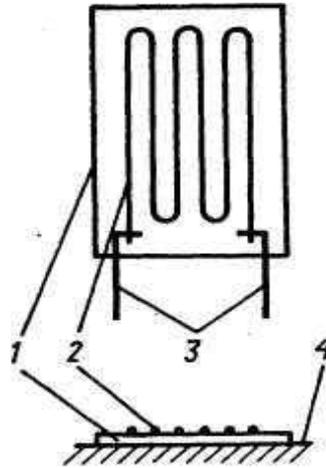


Рис. 1.2 Плоская петлевая форма намотки решетки проволочного тензорезистора:

1 — подложка; 2 — чувствительная проволока; 3 — выводные проводники; 4 — исследуемая конструкция; 5 — перемычки

Тензорезисторы обычно бывают соединены между собой по мостовой схеме (промежуточный преобразователь), где питающее напряжение подаётся на одну диагональ, а изменение напряжения при разбалансе моста (включении в работу активного тензорезистора) снимается с другой диагонали. Мостовая схема даёт возможность исключить влияние температуры на тензорезистор (рис. 3.1). Все недостающие сведения по тензометрированию можно найти, например, в книгах [1, 2].

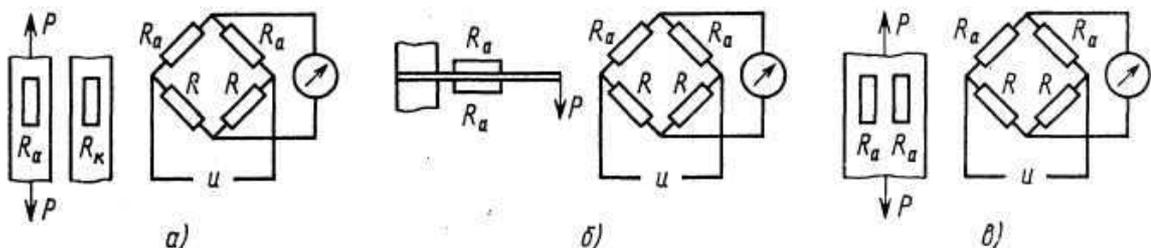


Рис. 1.3 Схемы расположения и включения в измерительный мост активного и компенсационного тензорезисторов с целью термокомпенсации:

а — случай одноосной деформации; б — случай изгиба; в — случай расположения на конструкции полупроводниковых тензорезисторов с разными знаками чувствительности

Тензорезистор наклеивается на деталь (в нашем случае на балку равного сопротивления (рис. 1.4)) и в процессе её нагружения деформируется вместе с ней. Растягиваясь (сжимаясь), датчик изменяет своё сопротивление, которое регистрирует соответствующий прибор (в нашем случае – ИТЦ-01).

Наша цель – определить сколько единиц деформации содержится в одном делении ИТЦ-01, т.е. необходимо произвести тарировку прибора.

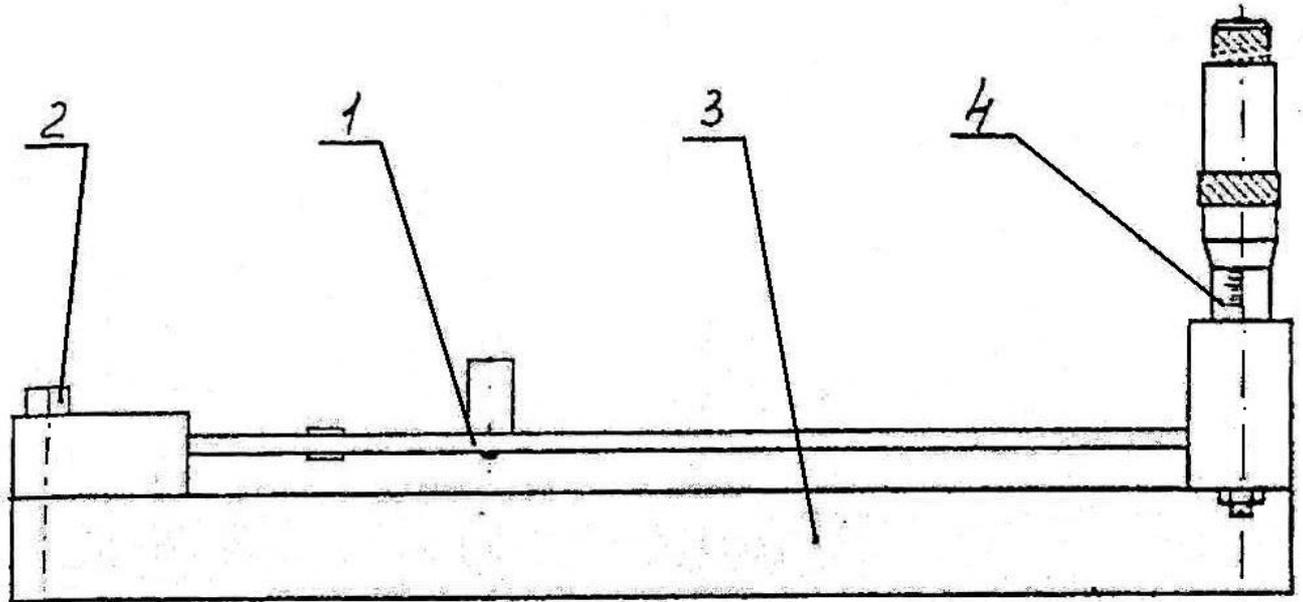


Рис. 1.4 Схема балки равного сопротивления

Для тарировки используем балку равного сопротивления. Тарировочный коэффициент определяем по деформациям.

Максимальные нормальные напряжения в поперечном сечении балки (они одинаковы для каждого сечения) определяются следующим образом [3, 4]

$$\sigma_X = \frac{M_Z}{W_Z} = \frac{F \cdot x \cdot 6 \cdot l}{b \cdot x \cdot h^2} = \frac{6F \cdot l}{b \cdot h^2}, \quad (1.1)$$

где $M_Z = F \cdot x$ - изгибающий момент в сечении на расстоянии x от конца

балки; $W_Z = \frac{b \cdot x \cdot h^2}{6 \cdot l}$ - осевой момент сопротивления балки; l – длина балки; h – толщина балки; b – ширина балки в заделке.

Максимальная линейная деформация в направлении продольной оси балки составит

$$\varepsilon_X = \frac{\sigma_X}{E} = \frac{6F \cdot l}{E \cdot b \cdot h^2}, \quad (1.2)$$

где E – модуль Юнга.

Поскольку в эксперименте мы с помощью микрометрического винта задаём перемещение конца балки, необходимо его определить расчётным путём (используя либо дифференциальное уравнение упругой линии балки, либо интеграл Мора). Для нашего случая

$$f = \frac{1}{2} \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot J_Z}, \quad (1.3)$$

где f – прогиб балки, заданный с помощью микрометрического винта;

$J_Z = \frac{b \cdot h^3}{12}$ – осевой момент инерции поперечного сечения балки в заделке.

Сопоставляя зависимости (1.2) и (1.3), получим, что

$$\varepsilon_X = \frac{f \cdot h}{l^2}. \quad (1.4)$$

Тарировочный коэффициент для каждого канала прибора определяется как

$$K_i = \frac{\Delta \varepsilon_{Xi}}{\Delta U_i}, \quad (1.5)$$

где ΔU_i – приращение напряжения на числовом вольтметре ИТЦ-01; $\Delta \varepsilon_{Xi}$ – приращение деформации, рассчитанное по формуле (1.4).

1.4. Проведение эксперимента

1.4.1. К сети подключается прибор ИТЦ-01 (прогрев – 5 минут).

1.4.2. На балку устанавливается микрометрический винт.

1.4.3. К балке подключается установка ИТЦ-01.

1.4.4. Переключателем «Канал» выбрать необходимый тензорезистор.

1.4.5. Переключателем «Диапазон» находим его такое положение, чтобы во всех четырёх разрядах появились цифры. Записываем число, появившееся на индикаторе прибора.

1.4.6. Задаём микрометрическим винтом перемещение, указанное преподавателем и фиксируем число на индикаторе прибора. Вычитая из него предыдущее число, определяем ΔU . По указанию преподавателя на этом же канале задаём ещё насколько перемещений. Обычно приращение перемещений (Δf) задаётся одинаковым.

1.4.7. Далее таким же образом (переключением канала) проводим эксперимент с остальными тензорезисторами и заполняем таблицу 1.1 (см. п. 1.5 – составление отчёта).

1.4.8. Определяем значение $\Delta\varepsilon_{Xi}$ (обычно они одинаковы, поскольку $\Delta f_i = \text{const}$) по формуле (1.4).

1.4.9. По формуле (1.5) находим значения K_i для необходимых каналов.

Показания прибора ИТЦ-01 в зависимости от заданных перемещений балки.

Таблица 1.1.

Δf_i , мм	Значения напряжений				
	Датчик № 1	Датчик № 2	Датчик № 3	Датчик № n

0,3					
0,3					
0,3					
Средние значения приращения напряжений	ΔU_{1cp}	ΔU_{2cp}	ΔU_{3cp}	ΔU_{ncp}

1.5. Составление отчёта

1.5.1. Цель работы.

1.5.2. Схема измерительного моста.

1.5.3. Схема тарировочной балки.

1.5.4. Исходные данные по тарировочной балке: $b=40$ мм; $h=5$ мм; $l=300$ мм; $E=2,1 \cdot 10^5$ МПа.

1.5.5. Определение максимального прироста деформации в поперечном сечении балки при $\Delta f_i = 0,3$ мм составит

$$\Delta\varepsilon_{Xi} = \frac{\Delta f_i \cdot h}{l^2}$$

- 1.5.6. Заполнение таблицы результатов эксперимента.
- 1.5.7. Определение тарировочных коэффициентов K_1, K_2, \dots, K_n .
- 1.5.8. Выводы.

1.6. Контрольные вопросы

- 1.6.1. Устройство тензометров.
- 1.6.2. Мостовая схема соединения датчиков.
- 1.6.3. Определение напряжений и деформаций методом электротензометрирования.
- 1.6.4. Выбор места установки тензометров.
- 1.6.5. Требования, предъявляемые к тензорезисторам.
- 1.6.6. Назначение прибора ИТЦ-01.
- 1.6.7. Есть ли другие методы тарировки тензорезисторов кроме балки равного сопротивления?
- 1.6.8. Объяснить закон Гука для растяжения.
- 1.6.9. Какие существуют методы обработки статистических данных?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ПРОДОЛЬНОЙ УПРУГОСТИ (МОДУЛЯ ЮНГА) И КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА

2.1. Цель работы

Экспериментальное определение модуля продольной упругости (модуля Юнга) и коэффициента Пуассона.

2.2. Оборудование

Две опорные стойки 2, 3 (рис. 2.1), образец 15, измеритель деформации ИТЦ-01, блок измерения усилий, датчик измерения усилий (5 кН), крепёжные элементы, ключи.

2.3. Краткие теоретические сведения

Закон Гука [3, 4] выглядит следующим образом

$$\sigma_X = \varepsilon_X \cdot E, \quad (2.1)$$

где $\sigma_X = \frac{F}{A}$ - нормальное напряжение в поперечном сечении, $\varepsilon_X = \frac{\Delta l}{l}$ - продольная деформация стержня (образца), F – нагрузка, растягивающая образец, A – площадь поперечного сечения образца, Δl – абсолютное удлинение образца, l – первоначальная длина образца.

Для наших условий формулу (2.1) можно преобразовать следующим образом

$$\Delta l = \frac{F \cdot l}{E \cdot A}. \quad (2.2)$$

Произведение $E \cdot A$ – продольная жёсткость поперечного сечения стержня при растяжении.

В данном экспериментальном исследовании модуль Юнга удобнее всего определять по формуле

$$E = \frac{F}{A \cdot \varepsilon_X} \quad (2.3)$$

Коэффициентом Пуассона называется абсолютное значение отношения поперечной деформации к продольной при линейном напряжённом состоянии

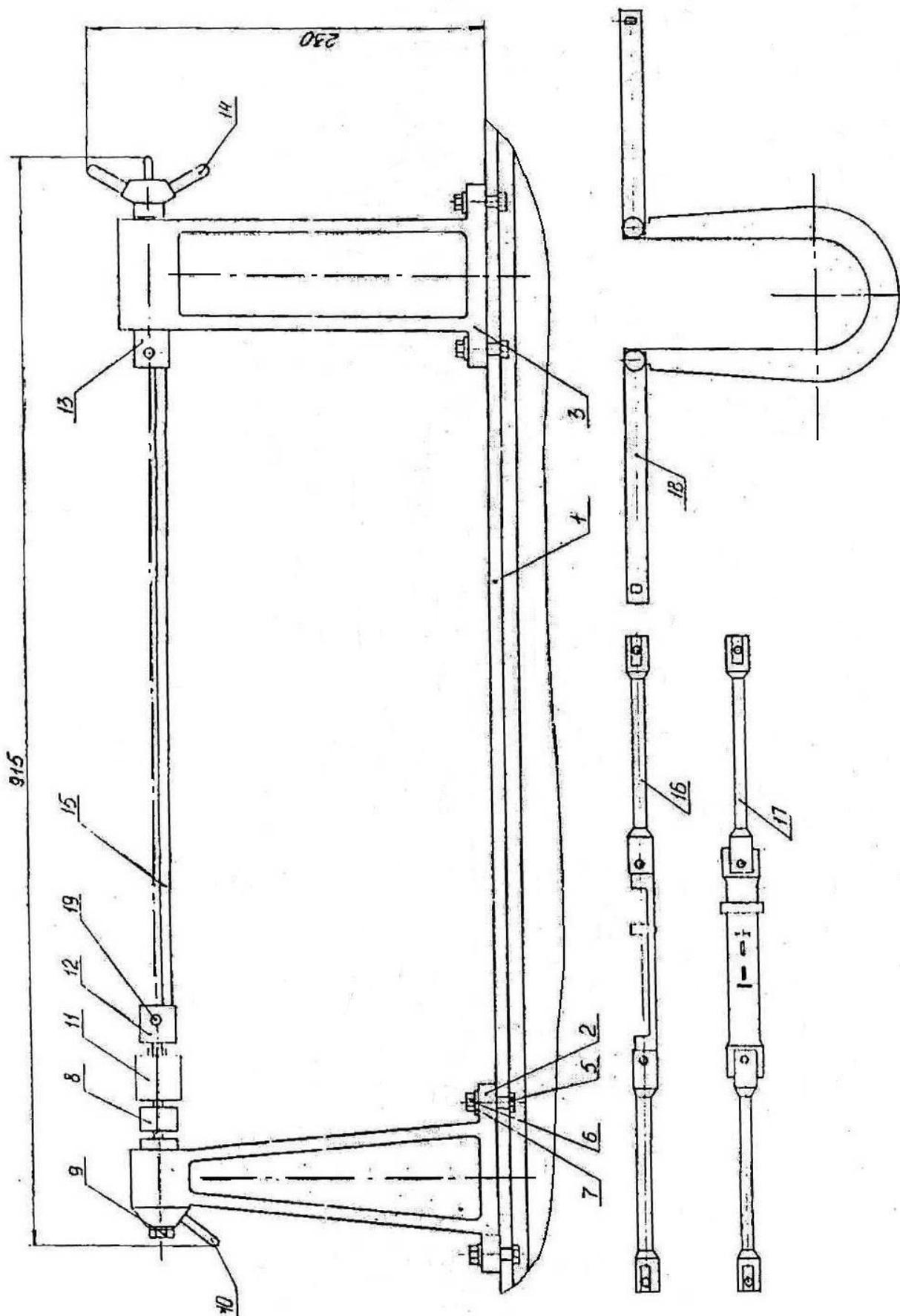


Рис. 2.1 Схема нагружения образца при растяжении

$$\mu = \left| \frac{\varepsilon_Y}{\varepsilon_X} \right|, \quad (2.4)$$

где $\varepsilon_Y = \frac{\Delta b}{b}$ - поперечная деформация стержня, Δb – величина абсолютно-го сужения стержня по оси Y, b – первоначальный поперечный размер образца по оси Y.

2.4. Проведение эксперимента

На образец прямоугольного поперечного сечения (рис 2.2) наклеены тензорезисторы (1, 2 – в продольном направлении; 3, 4 – в поперечном направлении).

Образец 15 (рис. 2.1) вместе с датчиком измерения усилий 11 закрепляются в опорных стойках 2, 3. Соединяем разъём датчика измерения усилий с блоком измерения усилий, а разъём тензорезисторов с прибором ИТЦ-01 (прогрев – 5 мин). Предварительно нагружаем образец силой 0,3...0,5 кН для устранения зазоров в шарнирах путём вращения штурвала 14.

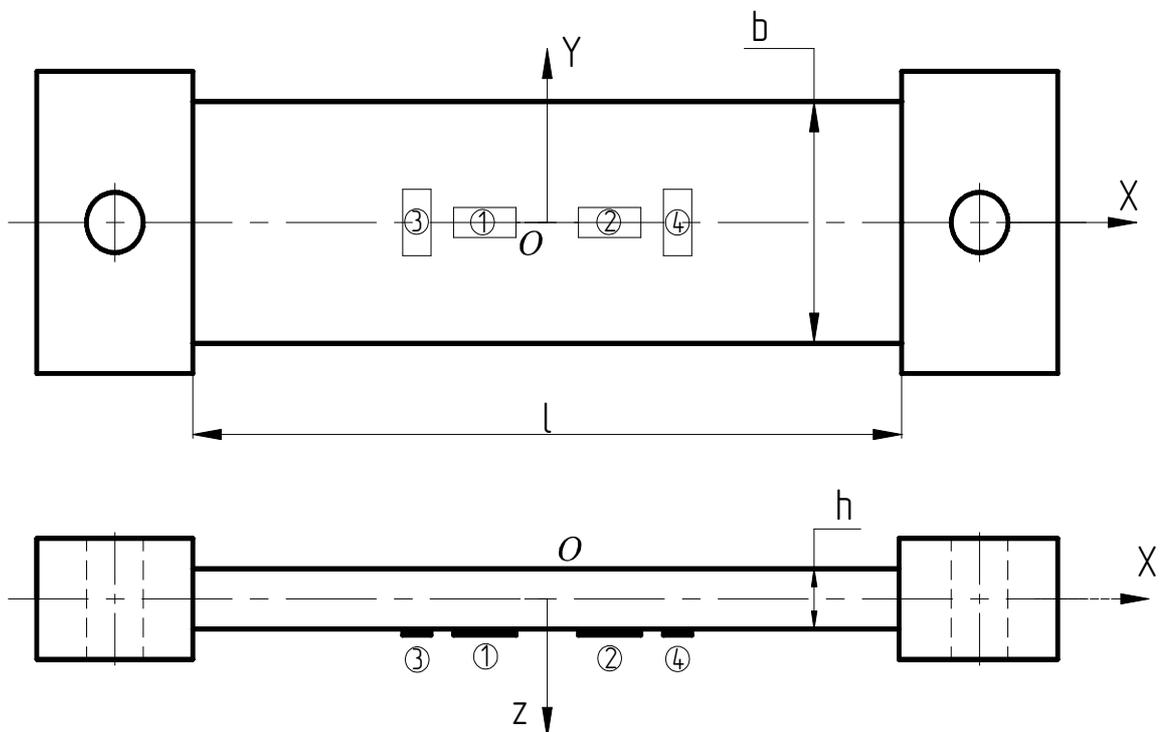


Рис. 2.2. Схема стержня и наклейки тензорезисторов

Устанавливаем на ноль шкалу прибора замера усилий. Затем последовательно нагружаем образец силой 1 кН, 2 кН, 3кН, 4 кН, снимая пока-

заяния с табло ИТЦ-01 для четырёх тензорезисторов, и заносим все данные в таблицу 2.1. Определяем разность показаний ИТЦ-01 между первым и нулевым, вторым и первым, третьим и вторым и между четвёртым и третьим нагружениями и также заносим в таблицу 2.1. Усредняем разность показаний для всех датчиков по формуле

$$\Delta U_{CPi} = \frac{\sum_{i=1}^4 \Delta U_i}{4} \quad (2.5)$$

и также заносим в таблицу 2.1.

Взяв значения тарировочных коэффициентов из лабораторной работы № 1, определяем значения ε_{X_i} и ε_{Y_i} по формулам:

$$\varepsilon_{X1,2} = K_{\partial 1,2} \cdot \Delta U_{CP 1,2}; \quad (2.6)$$

$$\varepsilon_{Y3,4} = K_{\partial 3,4} \cdot \Delta U_{CP 3,4}. \quad (2.7)$$

Затем модуль Юнга определяем по формуле (2.3) и усредняем его значение согласно показаниям датчиков 1, 2.

Далее находим коэффициент Пуассона по формуле (2.4), предварительно усреднив значение ε_Y по показаниям датчиков 3, 4.

Показания прибора ИТЦ-01 при изменении (приращении) растягивающей силы

Таблица 2.1.

Нагрузка F , кН	Показания прибора ИТЦ-01							
	Датчик 1		Датчик 2		Датчик 3		Датчик 4	
	Показания	Разность	Показания	Разность	Показания	Разность	Показания	Разность
0								
1								
2								
3								
4								
Усреднённые разности								

Результаты вычислений должны быть в пределах (для стали):

$$E = (1,9...2,1) \cdot 10^5 \text{ МПа}; \quad \mu = 0,25...0,30.$$

2.5. Составление отчёта

- 2.5.1. Цель работы.
- 2.5.2. Изображение образца с тензорезисторами.
- 2.5.3. Исходные данные по стержню: $b=150$ мм; $b=30$ мм; $h=2$ мм.
- 2.5.4. Вычисление площади поперечного сечения образца.
- 2.5.5. Проведение опытов и заполнение таблицы 2.1.
- 2.5.6. Выбор соответствующих тарировочных коэффициентов из лабораторной работы № 1.
- 2.5.7. Определение усреднённых значений деформаций ε_{Xcp} и ε_{Ycp} .
- 2.5.8. Определение модуля Юнга.
- 2.5.9. Вычисление коэффициента Пуассона.
- 2.5.10. Выводы.

2.6. Контрольные вопросы

- 2.6.1. Изобразить диаграмму растяжения для пластичного материала с объяснением всех прочностных характеристик.
- 2.6.2. Объяснить закон Гука.
- 2.6.3. Характеристика модуля Юнга.
- 2.6.4. Характеристика коэффициента Пуассона.
- 2.6.5. Объяснить размещение тензорезисторов на стержне.
- 2.6.6. Объяснить способ нахождения тарировочных коэффициентов и их значение.
- 2.6.7. Объяснить линейное напряжённое состояние стержня.
- 2.6.8. Объяснить определение перемещений при растяжении (сжатии) при изменяющемся усилии и площади поперечного сечения стержня.
- 2.6.9. Жёсткость стержня при растяжении (сжатии).
- 2.6.10. Что фиксирует тензомер?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТЕРЖНЯ ПРИ КРУЧЕНИИ

3.1. Цель работы

Экспериментальное определение напряжений, возникающих при кручении тонкостенной трубы и сопоставление их с расчетными значениями.

3.2. Оборудование

Стойка 2 (рис. 3.1), образец 9, блок измерения усилий (0,5 кН), измеритель деформации ИТЦ-01, крепежные элементы, ключи.

3.3 Краткие теоретические сведения

При кручении тонкостенного стержня возникает плоское напряженное состояние – чистый сдвиг. Касательные напряжения, возникающие в поперечном сечении стержня, составят

$$\tau_{MAX} = \frac{T}{W_P}, \quad (3.1)$$

где $T = F \cdot l$ – крутящий момент; $W_P \approx \pi d_{cp}^2 h / 2$ – полярный момент сопротивления; F – сила, действующая на плечо рычага; l – длина рычага; d_{cp} – средний диаметр трубы; h – толщина стенки трубы.

При известных линейных деформациях в направлении осей U , V , расположенных под 45° по отношению к продольной и поперечной осям X , Y , используя обобщенный закон Гука, можно определить главные напряжения, совпадающие по величине с максимальными касательными напряжениями:

$$\sigma_1 = \sigma_U = \tau_{MAX} = \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_U + \mu \cdot \varepsilon_V); \quad (3.2)$$

$$\sigma_3 = \sigma_V = -\tau_{MAX} = \frac{E}{1-\mu^2} (\xi_V + \mu \cdot \xi_U), \quad (3.3)$$

где μ – коэффициент Пуассона.

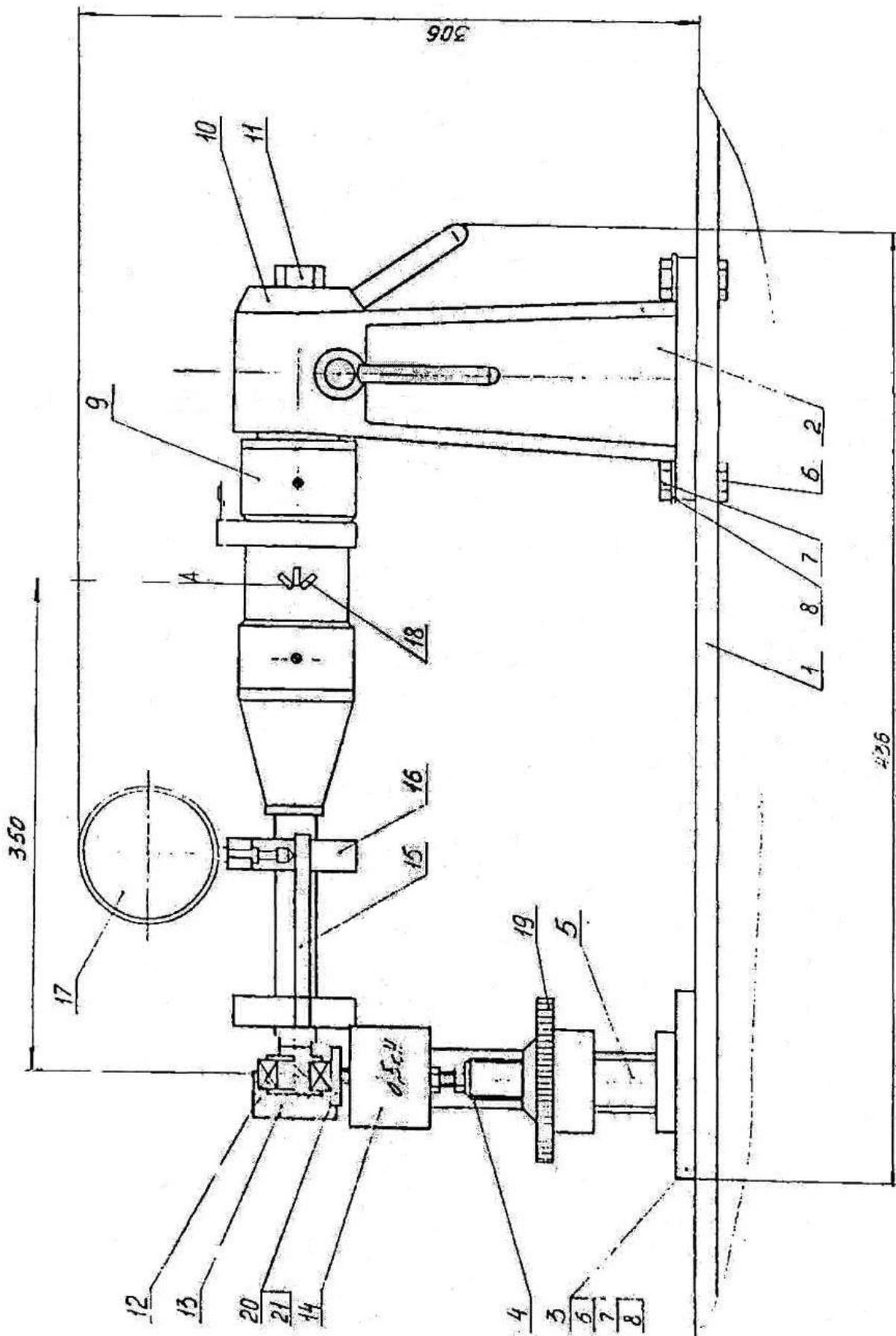


Рис. 3.1 Схема нагружения образца

3.4 Проведение эксперимента

Образец 9 (см. рис. 3.1) закрепляется на стойке 2. Устанавливается стойка 5 и к ней закрепляется датчик усилий. Затем на конце образца 9 устанавливается рычаг 13. Нагружение образца производится вращением гайки 19. Контроль нагружающей силы осуществляется снятием показаний блока измерителя усилий.

На тонкостенную ступенчатую трубу (образец) наклеены три тензорезистора (рис. 3.2): 1, 3 – под углом 45° к продольной оси, 2 – вдоль оси.

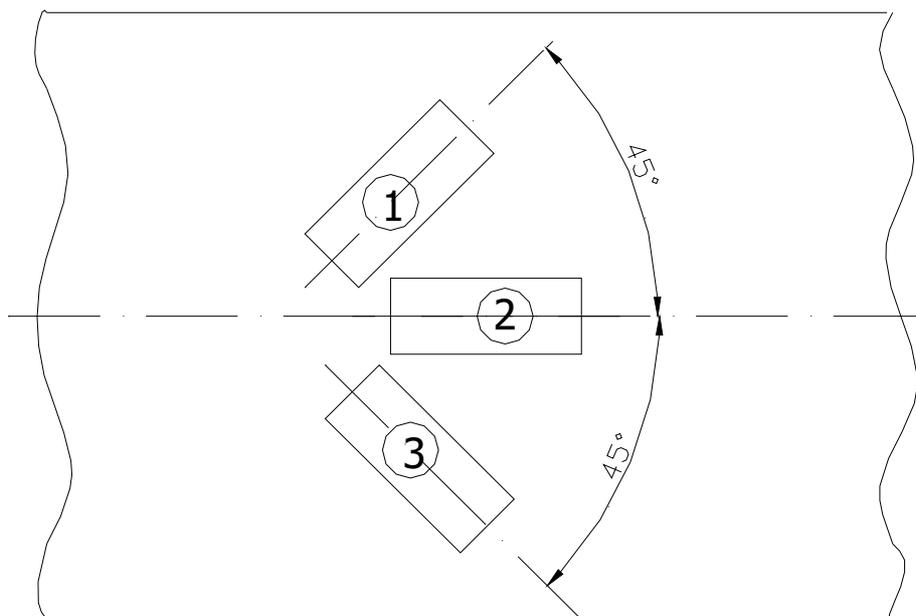


Рис. 3.2. Схема расположения датчиков на тонкостенном стержне

Подключаем к тензорезисторам прибор ИТЦ-01, а к датчику усилий – блок измерения усилий. Предварительно нагружаем образец силой 100 Н для устранения зазоров и фиксируем значения показаний датчиков 1, 3 с занесением в табл. 3.1. Затем последовательно нагружаем образец силой 200 Н, 300 Н и 400 Н со снятием показаний прибора ИТЦ-01 и записью в табл. 3.1.

Подсчитываем разности показаний прибора ИТЦ-01 для обоих датчиков на всех режимах нагружения и заносим в табл. 3.1. Усредняем разности показаний ИТЦ-01 для обоих датчиков, соответствующих приращению силы

$\Delta F = 100$ Н и помещаем в табл. 3.1.

Взяв значения тарировочных коэффициентов K_{01} и K_{03} из лабораторной работы №1 (обязательно необходимо, чтобы каналы усиления по соответствующим номерам датчиков в работах 1 и 3 совпадали), определяем деформации ε_U и ε_V по следующим зависимостям:

$$\varepsilon_U = K_{\partial 1} \cdot \Delta U_{\text{CP1}}; \quad (3.4)$$

$$\varepsilon_V = K_{\partial 2} \cdot \Delta U_{\text{CP2}}. \quad (3.5)$$

Далее напряжения σ_1 и σ_3 находим по формулам (3.2) и (3.3), приняв $E = 0,7 \cdot 10^5$ МПа, $\mu = 0,33$.

Касательные напряжения находим по формуле (3.1), сопоставляем с экспериментальными показаниями и вычисляем отклонение (в %), приняв расчетное значение τ_{max} за истинную величину.

Показания прибора ИТЦ-01 при измерении (приращении) крутящего момента

Таблица 3.1

Нагрузка F_1 , Н	Показания прибора ИТЦ-01			
	Датчик 1		Датчик 3	
	Показания	Разность	Показания	Разность
100				
200				
300				
400				
Усредненные разности		ΔU_{cp1}		ΔU_{cp3}

3.5 Составление отчета

3.5.1. Цель работы.

3.5.2. Изобразить образец с тензорезисторами (см. рис. 3.2).

3.5.3. Исходные данные по тонкостенной трубе:

наружный диаметр – 52,6 мм;

толщина стенки – 1,1 мм;

длина рычага – 200 мм;

модуль Юнга – $0,7 \cdot 10^5$ МПа;

коэффициент Пуассона – 0,33.

3.5.4. Определение максимальных касательных напряжений теоретическим путем (по формуле (3.1)).

3.5.5. Проведение эксперимента и заполнение табл. 3.1.

3.5.6. Выбор соответствующих тарировочных коэффициентов из лабораторной работы №1.

3.5.7. Определение усредненных значений деформаций ξ_U , ξ_V по формулам (3.4)-(3.5).

3.5.8. Определение главных нормальных напряжений по формулам (3.2)-(3.3).

3.5.9. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных. Определение процента ошибки.

3.5.10. Выводы.

3.6. Контрольные вопросы

3.6.1. Определение касательных напряжений в поперечном сечении стержня круглого поперечного сечения.

3.6.2. Нахождение главных площадей и главных напряжений при кручении круглого стержня.

3.6.3. Как определить угол поворота произвольного сечения стержня?

3.6.4. Объяснить причины расхождения между теоретическими и экспериментальными данными.

3.6.5. Что такое чистый сдвиг?

3.6.6. Как определить полярный момент инерции и полярный момент сопротивления?

3.6.7. Определение закона парности касательных напряжений.

3.6.8. Как определить потенциальную энергию деформирования круглого стержня?

3.6.9. Объяснить- каким образом в работе создается крутящий момент.

3.6.10. Почему в работе используется тонкостенная конструкция с большим модулем Юнга?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БАЛКИ ПРИ ПЛОСКОМ ИЗГИБЕ

4.1. Цель работы

Опытная проверка достоверности использования закона Гука при исследовании НДС балки при чистом изгибе.

Проверка закона линейного распределения нормальных напряжений по высоте сечения.

4.2. Оборудование

Двутавровая балка б с наклеенными тензодатчиками (рис. 4.1), элементы приспособления для создания чистого изгиба, измеритель деформации ИТЦ-01, датчик и блок измерения усилий, крепежные элементы, ключи.

4.3 Краткие теоретические сведения

Между точками приложения сил (см. рис. 4.1) в балке возникает чистый изгиб, при котором в поперечном сечении действуют только нормальные напряжения, которые находятся, как

$$\sigma_X = \frac{M_Z}{I_Z} \cdot y, \quad (4.1)$$

где M_Z – изгибающий момент в поперечном сечении; I_Z – момент инерции сечения; y – расстояние от нейтральной оси до слоя, в котором определяется напряжение.

При выводе зависимости (4.1) приняты гипотезы: плоских сечений и не надавливания продольных волокон друг на друга ($\sigma_y=0$). Таким образом, предполагается, что материал балки при чистом изгибе следует закону Гука, в связи с чем опытная проверка напряжений σ_x производится по закону Гука

$$\sigma_X = \varepsilon_X \cdot E, \quad (4.2)$$

где ε_x – продольная деформация, определяемая экспериментально; E – модуль Юнга.

Напряжения σ_x являются главными напряжениями (σ_1 – в растянутой зоне балки, а σ_3 – в сжатой), а поперечные площадки, на которых они действуют – главными площадками. Знак напряжения σ_x определяют по физическому смыслу.

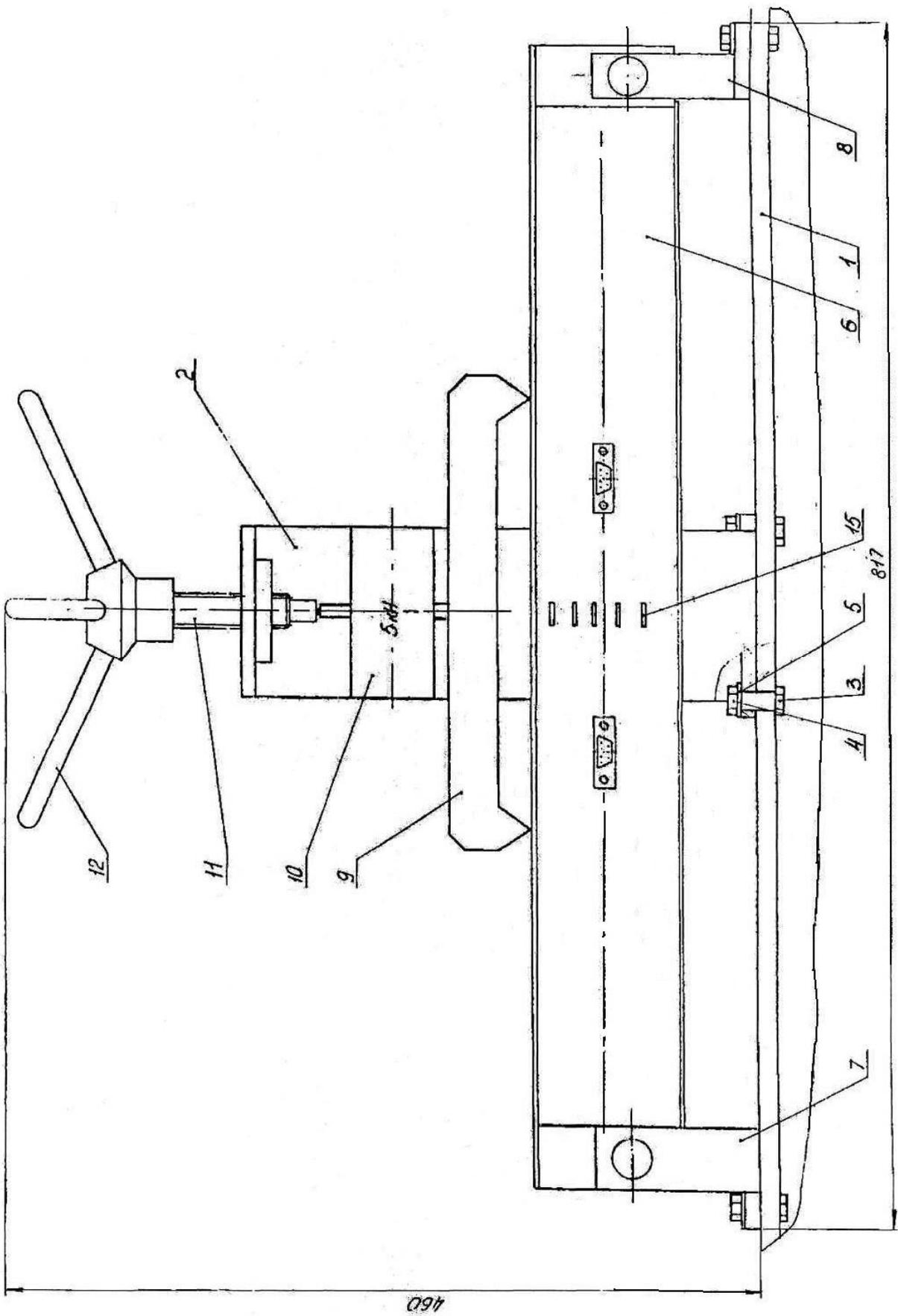


Рис. 4.1 Схема нагружения образца при чистом изгибе

4.4. Проведение эксперимента

По центру плиты 1 (см. рис.4.1) устанавливается винтовой пресс 2 и закрепляется болтами 3. Затем образец 6 (двутавовая балка) с помощью опор 7,8 также крепится болтами к плите стола. Далее прижимная планка 9 с укрепленным на ней датчиком усилий 10 (до 5 кН) устанавливается в гнезда двутаповой балки. Планка служит для нагружения образца (путем вращения штурвала 12) двумя одинаковыми силами, равноотстоящими от опор балки, т.е. между точками приложения поперечных сил балка будет испытывать состояние чистого изгиба.

На двутаповую балку 6 (см. рис. 4.1) наклеены девять тензорезисторов (рис.4.2).

Тензорезисторы 1-7 предназначены для фиксации продольных, а 8,9 для поперечных перемещений.

Подключаем к тензорезисторам прибор ИТЦ-01, а к датчику усилий – блок измерения усилий. Нагружаем предварительно балку силой 0,5 кН (для устранения зазоров).

Устанавливаем ручку прибора ИТЦ-01 для снятия показаний с датчика 1 и записываем исходное значение в табл. 4.1. Затем последовательно нагружаем балку силой 1 кН, 1,5 кН, 2 кН, 2,5 кН и 3 кН. На каждой ступени фиксируем показания ИТЦ-01 для тензорезистора 1 и записываем данные в табл. 4.1. Все то же самое проделываем и для остальных тензорезисторов. Определяем среднюю разность показаний $\Delta U_{срi}$ для каждого тензорезистора и заносим в таблицу 4.1.

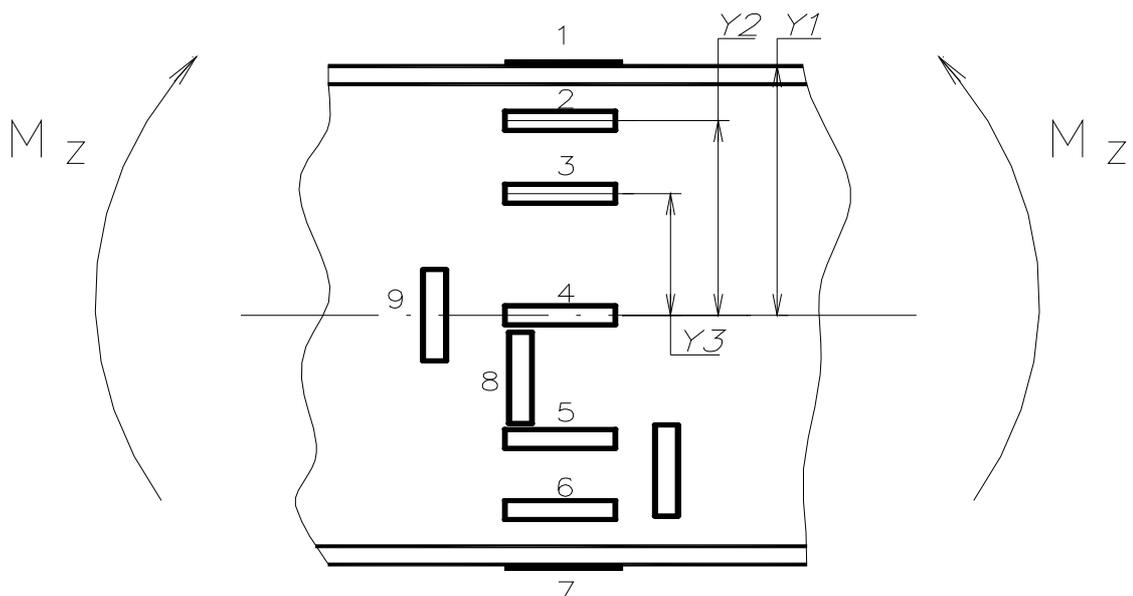


Рис. 4.2. Схема установки тензорезисторов на балке.

Взяв значения тарифовочных коэффициентов $K_{\partial i}$ из лабораторной работы №1, находим линейную деформацию для каждого тензорезистора по соотношению

$$\varepsilon_i = K_{\partial i} \cdot \Delta U_{CPi}; \quad (4.3)$$

и помещаем в таблицу 4.2.

Вычисляем нормальные напряжения (растягивающие и сжимающие) для различных уровней зоны чистого изгиба по зависимости (4.2) и также заносим в таблицу 4.2.

Определяем нормальные напряжения для различных уровней расчетным путем, используя формулу (4.1) и помещаем в таблицу 4.2. Для каждого уровня определяем процент ошибки, принимая за истинные значения напряжений их расчетные величины.

Построить эпюру нормальных напряжений и поместить на ней экспериментальные значения напряжений в виде точек.

Показания прибора ИТЦ-01 при изгибе балки

Таблица 4.1

Нагрузка, кН	Показания прибора ИТЦ-01																	
	Датчик 1		Датчик 2		Датчик 3		Датчик 4		Датчик 5		Датчик 6		Датчик 7		Датчик 8		Датчик 9	
	Показания	Разность	Показания	Разность	Показания	Разность	Показания	Разность	Показания	Разность	Показания	Разность	Показания	Разность	Показания	Разность	Показания	Разность
0,5																		
1,0																		
1,5																		
2,0																		
2,5																		
3,0																		
Усредненные разности		ΔU_{cp1}		ΔU_{cp2}		ΔU_{cp3}		ΔU_{cp4}		ΔU_{cp5}		ΔU_{cp6}		ΔU_{cp7}		ΔU_{cp8}		ΔU_{cp9}

4.5 Составление отчета

4.5.1. Цель работы.

4.5.2. Рисунок образца с тензорезисторами (см. рис. 4.2).

4.5.3. Исходные данные по балке:

расстояние между точками приложения сил – 250 мм;

высота балки – 90 мм;

ширина полки – 36 мм;

толщина полки – 2 мм;

уровни расположения тензорезисторов (см. рис. 4.2) – $y_1=45$ мм, $y_2=35$ мм, $y_3=20$ мм, $y_4=0$ (датчики 5,6,7 расположены симметрично);

модуль Юнга материала балки – $0,7 \cdot 10^5$ МПа;

коэффициент Пуассона – 0,33.

4.5.4. Определение нормальных напряжений на различных уровнях теоретическим путем (по формуле (4.1)) и заполнение табл. 4.2.

4.5.5. Проведение эксперимента и заполнение табл. 4.1.

4.5.6. Выбор соответствующих тарировочных коэффициентов из лабораторной работы №1.

4.5.7. Определение усредненных значений деформаций (по формуле (4.2)), напряжений (по формуле (4.1)) и заполнение табл. 4.2.

4.5.8. Вычисление процента ошибок с занесением в табл. 4.2.

4.5.9. Построение эпюры нормальных напряжений с нанесением экспериментальных точек.

4.5.10. Выводы.

4.6 Контрольные вопросы

4.6.1 Какой вид нагружения балки называется чистым и поперечным изгибом?

4.6.2 Как определяются напряжения при чистом и поперечном изгибе?

4.6.3 Дать определение нейтрального слоя и нейтральной оси балки.

4.6.4 Дать определение геометрических характеристик сечения, используемых при изгибе (статический момент сечения, осевой момент инерции сечения). Центральные и главные оси сечения.

4.6.5 Объяснить напряженное состояние в различных слоях балки при поперечном изгибе.

4.6.6 Какие погрешности возникают при электротензометрировании?

4.6.7 Объяснить, каким образом определяются нормальные напряжения с помощью тензорезисторов?

4.6.8 Чем объяснить расхождение между теоретическими и экспериментальными данными?

Значения деформаций и напряжений в различных слоях балки

Таблица 4.2

Нагрузка кН	Значения деформаций и напряжений																			
	Датчик 1				Датчик 2				Датчик 3				Датчик 4				Датчик 5			
	ε_1	$\sigma_{1экс}$	$\sigma_{1расч}$	% ошибки	ε_2	$\sigma_{2экс}$	$\sigma_{2расч}$	% ошибки	ε_3	$\sigma_{3экс}$	$\sigma_{3расч}$	% ошибки	ε_4	$\sigma_{4экс}$	$\sigma_{4расч}$	% ошибки	ε_5	$\sigma_{5экс}$	$\sigma_{5расч}$	% ошибки
1,0																				
1,5																				
2,0																				
2,5																				
3,0																				

цы 4.2

Продолжение табли-

Нагрузка кН	Значения деформаций и напряжений															
	Датчик 6				Датчик 7				Датчик 8				Датчик 9			
	ε_6	$\sigma_{6экс}$	$\sigma_{6расч}$	% ошибки	ε_7	$\sigma_{7экс}$	$\sigma_{7расч}$	% ошибки	ε_8	$\sigma_{8экс}$	$\sigma_{8расч}$	% ошибки	ε_9	$\sigma_{9экс}$	$\sigma_{9расч}$	% ошибки
1,0																
1,5																
2,0																
2,5																
3,0																

Библиографический список

1. Макаров, Р.А. Тензометрия в машиностроении /Р.А. Макаров, А.Б. Ренский, Г.Х. Боркунский и др. – М.: Машиностроение, 1975. – 287 с.
2. Клокова, Н.П. Тензорезисторы /Н.П. Клокова. – М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.
3. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов /В.И. Феодосьев. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 524 с.
4. Дарков, А.В. Сопротивление материалов /А.В. Дарков, Г.С. Шпиро. – М.: Высшая школа, 1989. – 624 с.
5. Писаренко, Г.С. Сопротивление материалов /Г.С. Писаренко, В.А. Агаев, А.Л. Квитка и др. – Киев: Вища шк., 1986. – 775 с.
6. Манжосов, В.К. Лабораторные работы по сопротивлению материалов. Часть 1 /В.К. Манжосов. – Ульяновск: УлГТУ, 2006. – 28 с.