

**МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**кафедра "Сопротивление материалов"**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОСКОГО ИЗГИБА**

**методические указания к лабораторной работе**

**ВОЛГОГРАД 1999**

УДК 539.4

Исследование плоского изгиба: Методические указания к лабораторной работе / Сост. В.П.Багмутов, А.С.Столярчук, Е.Ю.Лобанова - ВолгГТУ, Волгоград. - 8 с.

Приводится методика определения деформаций и напряжений методом тензометрирования при плоском изгибе бруса. Даны основные сведения из теории изгиба. Экспериментально обоснованы гипотезы, положенные в основу вывода формулы нормальных напряжений при изгибе. Имеется список учебной литературы, а также вопросы для самопроверки знаний студентов по изучаемой теме.

Предназначены для выполнения лабораторных работ по сопротивлению материалов.

Ил. 3. Библиогр.: 4 назв.

Рецензент ст. преподаватель Тодоров А.Н.

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Волгоградского государственного технического университета

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** экспериментально-теоретическое изучение распределения нормальных напряжений по поперечному сечению в брусках с прямолинейной геометрической осью при плоском изгибе; проверка справедливости гипотез, положенных в основу вывода формулы нормальных напряжений при изгибе.

## ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИБОРЫ И ИСПЫТУЕМЫЙ ОБРАЗЕЦ

При выполнении работы используется стальной плоский брусок подковообразной формы (рис.1) с прямоугольным поперечным сечением. В качестве нагружающей установки, описание которой приводится на рабочем месте, применяется пресс Бригнелля (ТШ-2). Нагрузка на брусок передается посредством шариковых опор. После предварительного ручного нагружения установка включается нажатием кнопки, встроеной в пресс. На время, необходимое для регистрации нормальных напряжений в точках бруса, указанных на рис. 1, пресс Бригнелля отключается от сети

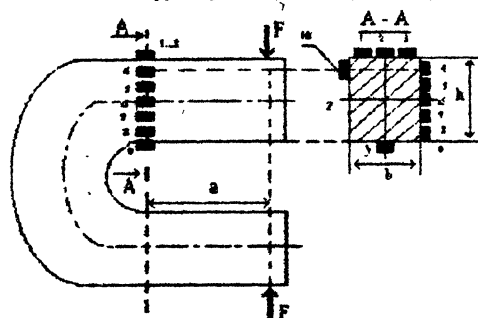


Рис.1. Схема нагружения бруса и расположения датчиков

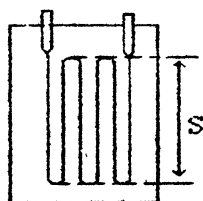


Рис.2. Схема тензодатчика S-база датчика

В качестве измерителей деформаций используются датчики омического сопротивления (рис. 2), называемые тензодатчиками. Рабочие тензодатчики  $R$  наклеены на брусок (рис.1) в местах, обозначенных порядковыми числами 1...10. Каждый тензодатчик представляет собой отрезок тонкой проволоки диаметром 20-50 мкм, изготовленной из сплава высокого омического сопротивления (нихром, константан, эливар) Проволока, уложенная петлями (рис.2), закреплена между двумя склеенными слоями тонкой бумаги. Длина петли  $S$  называется базой. В настоящей работе используются датчики с базой  $S$ , равной 10 мм.

Каждый датчик наклеивается на испытываемую деталь таким образом, чтобы направление его базы совпало с направлением линейной деформации, которую необходимо измерить. Деформируясь вместе с бруском, датчик изменяет свое первоначальное электросопротивление  $R$  на величину  $\Delta R$ , пропорциональную деформации. С учетом коэффициента тензочувствительности  $\alpha$ , зависящего от физических свойств материала датчика, относительная линейная деформация базы  $S$  определяется формулой

$$\varepsilon = a \frac{\Delta R}{R}$$

Измерение величины  $\Delta R$ , преобразуемой в электрический сигнал, производится по мостовой схеме (рис. 3), подключенной к блоку усиления электрического сигнала.

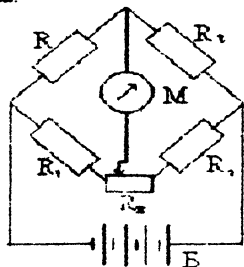


Рис. 3. Мостовая схема включения тензодатчика

Мостовая схема образована из четырех соединенных тензодатчиков и регулировочного сопротивления  $R_5$ . Датчик  $R_1$ , наклеиваемый на стальную ненагруженную деталь, предназначен для температурной компенсации, датчики  $R_1$  и  $R_2$  являются балластными. Балластные датчики, как и регулировочное сопротивление, установлены в измерительном приборе, используемом одновременно в качестве усилителя электрического сигнала. В качестве последнего может служить цифровой тензометрический мост (ЦГМ-5), тензостанция (ИСН-20М), или другой прибор, необходимые сведения о котором приводятся на рабочем месте. На рис.3 он условно обозначен буквой "М".

После регистрации величин, пропорциональных деформациям в выбранных точках бруса, нагружающая установка вновь включается в сеть и образец автоматически разгружается.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Задача об аналитическом определении нормальных напряжений при изгибе бруса является внутренне статически неопределимой, т.к. для выяснения вопроса о закономерности распределения этих напряжений по высоте поперечного сечения уравнений статики недостаточно. Возникает необходимость рассматривать дополнительно и условия деформирования бруса, которые в совокупности с уравнениями статики и законом Гука позволяют решить поставленную задачу.

Для упрощения вывода формулы нормальных напряжений при изгибе в сопротивлении материалов, используется ряд гипотез, справедливость которых подтверждается экспериментально. Содержание этих гипотез сводится к следующему:

- 1) продольные волокна при изгибе брусков не давят друг на друга (гипотеза отсутствия боковых давлений),
- 2) по ширине поперечного сечения бруса нормальные напряжения не изменяются (гипотеза постоянства нормальных напряжений по ширине),
- 3) поперечные сечения поворачиваются, но не искривляются (гипотеза плоских сечений).

4) поперечная сила не оказывает влияния на нормальные напряжения, действующие в направлении геометрической оси бруса.

Гипотеза об отсутствии боковых давлений между продольными волокнами дает основание пользоваться формулой Гука вида

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (1)$$

справедливой для линейного напряженного состояния, когда  $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ .

Гипотеза постоянства нормальных напряжений по ширине позволяет заключить, что величина нормальных напряжений не будет зависеть от координаты  $z$  (рис 1) Третья из отмеченных выше гипотез (гипотеза плоских сечений) дает возможность установить зависимость гипотетических деформации «волокон» балки от их удаления от нейтральной оси (на нейтральной оси, по определению, линейные деформации и соответственно нормальные напряжения равны нулю) Наконец, четвертая гипотеза дает основание выполнить исследование нормальных напряжений без учета поперечной силы, как при чистом плоском изгибе.

Аналитическое решение поставленной выше задачи показывает, что в произвольной точке поперечного сечения прямолинейного участка бруса нормальные напряжения определяются по формуле

$$\sigma = \frac{M_z}{J_z} y. \quad (2)$$

Здесь  $M_z$  - изгибающий момент в поперечном сечении бруса;  $y$  - расстояние от главной центральной оси инерции  $z$  до точки, в которой определяется нормальное напряжение;  $J_z$  - осевой момент инерции поперечного сечения бруса относительно главной центральной оси  $z$ .

Согласно формуле (2) в прямолинейных участках бруса (рис. 1, сечение А-А) нормальные напряжения по высоте поперечного сечения распределяются по линейному закону.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Экспериментальная проверка формулы (2) и названных выше гипотез основывается на следующих соображениях:

1. Закон Гука в форме (1) позволяет легко определять нормальные напряжения по экспериментально измеренным линейным деформациям датчиков
2. Известно, что при упругом растяжении (сжатии) отношение поперечной  $\varepsilon'$  к продольной деформации  $\varepsilon$  является величиной постоянной для данного материала и называется коэффициентом Пуассона:

$$\left| \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \right| = \mu. \quad (3)$$

Для углеродистых сталей  $\mu=0,27 \dots 0,30$ . Справедливость гипотезы об отсутствии боковых давлений можно подтвердить, убедившись в справедливости отношения (3) по показаниям тензодатчиков "4" и "10" (рис. 1).

3. Если гипотезы верны, то экспериментальные значения напряжений в точках 3...9 с достаточной точностью, соизмеримой с точностью определения механических свойств материала, (с ошибкой 10-20%) группируются вокруг прямой линии, построенной по теоретической формуле (2).

Таким образом, для проверки гипотез следует построить эпюры деформаций и напряжений, нанести на них экспериментально найденные значения  $\varepsilon$  и  $\sigma$  установить, насколько близко они располагаются вокруг прямых расчетных линий.

Рекомендуется следующий порядок проведения работы:

1. Включить в сеть измерительный прибор
2. Включить в сеть нагружающую установку и нагрузить брус.
3. Приступить к измерению деформаций (напряжений) в интересующих точках бруса. Записать показания прибора в таблицу протокола.
4. Окончив измерения, полностью разгрузить брус и отключить от сети измерительный прибор

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Перечислите гипотезы, лежащие в основе теории плоского изгиба
2. Что можно сказать о влиянии поперечной силы на нормальные напряжения при изгибе?
3. По какому закону изменяются нормальные напряжения по высоте сечения балки с прямолинейной геометрической осью?
4. Как проходит нейтральная ось поперечного сечения в брус с прямолинейной геометрической осью?
5. Объясните принцип измерения деформаций с помощью датчиков омического сопротивления
6. Нарисуйте схему датчика омического сопротивления, покажите его базу.
7. Начертите схему тензометрического моста и объясните его работу
8. Какую характеристику материала нужно знать при вычислении напряжений по измеренным деформациям при линейном напряженном состоянии? Чему она равна для стали?
9. Напишите формулу нормальных напряжений, возникающих в поперечных сечениях балок с прямолинейной геометрической осью при изгибе и объясните смысл чисел, входящих в нее.
10. В каких точках по высоте поперечного сечения возникают нормальные экстремальные напряжения для балок с прямолинейной осью?
11. Чем чистый изгиб отличается от поперечного.
12. При каком напряженном состоянии брус работает при чистом изгибе.
13. Как экспериментально подтверждается справедливость гипотезы об отсутствии боковых давлений между продольными волокнами при изгибе?
14. Как экспериментально подтверждается справедливость гипотезы плоских сечений при изгибе бруса с прямолинейной геометрической осью?

15. Как экспериментально подтверждается справедливость гипотезы о постоянстве напряжений по ширине бруса?
16. Каким способом доказывается гипотеза об отсутствии влияния поперечной силы на нормальные напряжения при поперечном изгибе?
17. Что такое главные центральные оси поперечного сечения бруса?

## ПРАВИЛА ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ И ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Перед началом работы тщательно изучите настоящую инструкцию, ознакомьтесь с работой установки и приборов, которые будут использоваться при исследовании
2. Убедитесь в исправности заземления. При отсутствии заземления работать на установке запрещается. Помните, что установка (пресс Бриелля) подключена к сети с напряжением 380 вольт.
3. Начинайте работу только после персонального получения разрешения от преподавателя
4. Закончив работу, отключите установку и приборы от сети.
5. Запрещается прикасаться руками к тензодатчикам и проводам, припаянным к ним для подключения к электрической схеме

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Фейджьяв В.И.* Сопротивление материалов 1986 Гл 4, §29 (с 140-149)
2. *Дарков А.В., Штурм Г.С.* Сопротивление материалов 1989 Гл 7, §7 6 (с 239-248)
3. *Писаренко Г.С.* и др Сопротивление материалов 1973 Гл X, § 60 (с.234-241)
4. *Степин П.А.* Сопротивление материалов 1988 Гл VI, §52 (с 146-150)

Вячеслав Петрович Багмутов  
Александр Станиславович Столярчук  
Екатерина Юрьевна Лобанова

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОСКОГО ИЗГИБА

Методические указания к лабора-  
торной работе

Редактор Е.М. Богомазова

Темплан 1999 г. Поз. № 116 .

*4.10.99.*

Подписано в печать. Формат 60 x 84 1/16. Бумага газетная.  
Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,46 . Уч.-изд. л. 0,4 . Тираж 500 экз. Заказ 598

Волгоградский государственный технический университет.  
400066 Волгоград. просп. Ленина, 28.

РПК "Политехник"

Волгоградского государственного технического университета.  
400066 Волгоград, ул. Советская, 35.