

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра теоретической механики и сопротивления материалов

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторных работ
для студентов специальностей
120100, 120200, 030500, 120500, 150100,
150200, 150300, 230100, 240400

Часть 2

Курган 2000

Кафедра теоретической механики и сопротивления материалов

Дисциплина "Сопротивление материалов"

(специальности 120100, 120200, 030500, 120500,
150100, 150200, 150300, 230100, 240400).

Составили: профессор, доктор техн. наук Бубнов В. А. (работа 11); доцент, канд. техн. наук Емельянова Н. С. (работа 14); ст. преподаватель, канд. техн. наук Коротовских В. К. (работы 7, 8); доцент, канд. техн. наук Костенко С. Г. (работы 9, 12, 13); доцент, канд. техн. наук Тютрин С. Г. (работа 10)

Утверждены на заседании кафедры 16 февраля 2000 года.

Рекомендованы редакционно-издательским советом
университета " 1 " июля 2000 г.

РАБОТА 7
ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В
ПОПЕРЕЧНОМ СЕЧЕНИИ БАЛКИ ПРИ ИЗГИБЕ

Цель работы: определить нормальные напряжения в поперечном сечении двутавровой двухопорной балки при плоском изгибе; сравнить опытные и теоретические значения напряжений.

Основные положения

При изгибе по высоте поперечного сечения балки образуются две зоны – растяжения и сжатия, разделяемые нейтральным слоем. Продольные волокна нейтрального слоя искривляются, но не меняют своей длины. Линия пересечения нейтрального слоя с плоскостью поперечного сечения называется нейтральной осью (н.о.). Нейтральная ось проходит через центр тяжести сечения.

В пределах упругих деформаций нормальные напряжения рассчитываются по формуле

$$\sigma = \frac{M}{J_{но}} \cdot y, \quad (7.1)$$

где M – изгибающий момент в исследуемом сечении балки (для нахождения M необходимо применить метод сечения);

y – расстояние от рассматриваемой точки поперечного сечения до нейтральной оси;

$J_{но}$ – осевой момент инерции поперечного сечения относительно нейтральной оси.

Наибольшие (по модулю) нормальные напряжения возникают в точках, наиболее удаленных от нейтральной оси (при $y = y_{max}$)

$$\sigma_{max} = \frac{M}{J_{но}} \cdot y_{max} = \frac{M}{W_{но}}, \quad (7.2)$$

где $W_{но} = \frac{J_{но}}{y_{max}}$ – осевой момент сопротивления сечения относительно нейтральной оси.

Для определения нормальных напряжений из опыта используется закон Гука

$$\sigma = E \varepsilon, \quad (7.3)$$

где E – модуль продольной упругости (для стали $E = 2 \cdot 10^5$ МПа);
 ε – продольная деформация.

Измерение продольной деформации ε основано на методе электротензометрирования. Чувствительным элементом при этом является тензорезистор или датчик омического сопротивления. Он представляет собой несколько петель тонкой проволоки (диаметром 15–30 мкм из константана, нихрома и т.п.), закрепленной на бумажной основе. Датчик наклеивают на испытываемый образец. При деформации образца (растяжении или сжатии) деформируется и датчик и, как следствие, прямо пропорционально деформации меняется его омическое сопротивление (растяжение проволоки вызывает увеличение сопротивления, сжатие – уменьшение). Это изменение сопротивления тензорезистора регистрируется при помощи прибора с мостовой схемой. По изменению сопротивления датчика определяют деформацию образца.

Датчики наклеены на расстоянии l_0 от правой опоры в пяти точках по высоте поперечного сечения. Расположение датчиков на двутавровой балке и эпюра σ показаны на рисунке 7.1. При нагружении балки равными ступенями снимают показания прибора – измерителя деформаций цифрового ИДЦ-1 и переходят от деформаций к вычислению опытных напряжений в каждой из 5-ти точек сечения

$$\sigma^0 = E \varepsilon^0 = E \Delta A_{cp} m, \quad (7.4)$$

где ΔA_{cp} – среднее приращение показаний прибора ИДЦ-1 по данному датчику;

$m = 10^{-5}$ – коэффициент прибора.

Порядок выполнения работы

1. Определить необходимые размеры:

- пролет балки l ;
- расстояние от опоры до сечения с тензорезисторами l_0 ;
- номер двутавра (номер равен высоте профиля в сантиметрах);
- геометрические характеристики двутаврового сечения $J_{но} = J_x$ и $W_{но} = W_x$ (ГОСТ 8239–89);
- расстояния от нейтральной оси до датчиков U_1, U_2, U_3, U_4, U_5 .

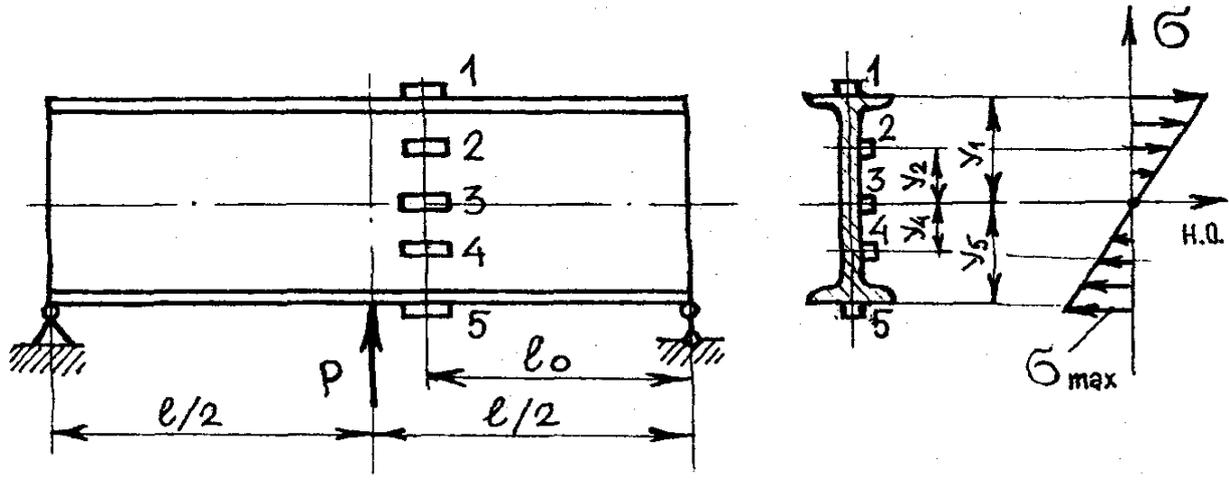


Рисунок 7.1

2. Установить область применения формул (7.1) и (7.3), ограничивая возникающие напряжения, пределом пропорциональности $\sigma_{пц}$,

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_{но}} \leq \sigma_{пц} \quad (7.5)$$

Для предлагаемой схемы $M_{max} = Pl/4$. Тогда величина допускаемой силы, обеспечивающей появление только упругих деформаций, будет равна

$$[P] = \frac{4\sigma_{пц} W_{но}}{l} \quad (7.6)$$

Принять для стали $\sigma_{пц} = 200$ МПа.

3. Приложить к балке предварительную нагрузку, установить индикатор нагружающего устройства на нулевое деление.

4. Последовательно увеличивать нагрузку равными ступенями ΔP (не превышая $[P]$), снять показания прибора ИДЦ-1 по тензорезисторам 1, 2, 3, 4, 5.

5. Найти средние приращения показаний прибора на ступень нагрузки и по формуле (7.4) вычислить опытные значения напряжений σ , (МПа) в контрольных точках.

6. Построить эпюру изгибающего момента для расчетной схемы балки, приняв $P = \Delta P$. Определить момент в том сечении балки, где измеряются напряжения (наклеены датчики). Используя найденный

изгибающий момент, рассчитать по формуле (7.1) теоретические величины напряжений.

7. Построить эпюру изменения опытных и теоретических нормальных напряжений по высоте сечения балки.

8. Вычислить погрешность опыта во всех контрольных точках.

Контрольные вопросы

1. Как деформируются волокна балки при изгибе?

2. Что называется нейтральным слоем балки, нейтральной осью ее поперечного сечения?

3. По какой формуле рассчитываются нормальные напряжения в точках поперечного сечения балки при плоском изгибе?

4. Всегда ли применима формула (7.1) для расчета нормальных напряжений при изгибе?

5. Укажите взаимосвязь между осевыми моментами инерции и сопротивлением поперечного сечения.

6. Чему равны нормальные напряжения в поперечных сечениях балки на нейтральной оси?

7. Каким методом измеряют деформации при проведении опыта?

8. Какую упругую постоянную материала необходимо знать, чтобы определить нормальные напряжения по измеренным деформациям?

Отчет о работе

1. Название и цель работы.

2. Размеры:

пролет балки $l =$;

расстояние до исследуемого сечения $l_0 =$;

профиль балки – двутавр № ;

момент инерции сечения $J_{но} =$;

момент сопротивления $W_{но} =$.

3. Максимальная нагрузка $[P]$, при которой напряжения не превышают предела пропорциональности $\sigma_{пл} = 200$ МПа

$$[P] = \frac{4 \sigma_{пл} W_{но}}{l} =$$

4. Результаты опыта.

Таблица 7.1 – Показания прибора ИДЦ-1

Нагруз- ка, кН		Отсчеты (в делениях прибора) в точках									
		1		2		3		4		5	
P	ΔP	A 1	Δ A1	A2	Δ A2	A3	Δ A3	A4	Δ A4	A5	Δ A5
		Среднее Δ A1cp=		Δ A2cp=		Δ A3cp=		Δ A4cp=		Δ A5cp=	

5. Опытные значения нормальных напряжений σ^o в точках 1, 2, 3, 4, 5.

6. Схема нагружения (рисунок 7.1). Учитывая то, что расстояния между датчиками одинаковы, указать на рисунке ординаты точек $U_1 =$; $U_2 =$; $U_3 =$; $U_4 =$; $U_5 =$.

7. Расчетная схема балки. Эпюра изгибающего момента при $P = \Delta P$. Величина изгибающего момента в расчетном сечении

$$M =$$

8. Теоретические значения напряжений σ (МПа) в точках сечения.

9. Эпюра нормальных напряжений (опытных и расчетных) по высоте поперечного сечения.

10. Погрешность опыта $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4, \delta_5$:

$$\delta = \frac{\sigma - \sigma^o}{\sigma} \cdot 100 \% =$$

РАБОТА 8 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО КАСАТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ИЗГИБЕ БАЛКИ

Цель работы: определить опытным и теоретическим путем наибольшее касательное напряжение при плоском поперечном изгибе балки.

Основные положения

При плоском поперечном изгибе в сечениях балки возникает два внутренних силовых фактора – изгибающий момент M и поперечная сила Q . С изгибающим моментом связано появление в сечениях балки нормального напряжения σ , с поперечной силой – касательного напряжения τ .

Касательное напряжение изменяется по высоте поперечного сечения балки и в произвольной точке сечения может быть определено по формуле Д. И. Журавского

$$\tau = \frac{Q \cdot S_{\text{но}}^{\text{отс}}}{b \cdot J_{\text{но}}}, \quad (8.1)$$

- где Q – поперечная сила в рассматриваемом сечении балки;
 $S_{\text{но}}^{\text{отс}}$ – статический момент отсеченной части поперечного сечения относительно нейтральной оси (равен произведению площади отсеченной части на расстояние от ее центра тяжести до нейтральной оси);
 b – ширина поперечного сечения в той точке, где рассчитывается напряжение;
 $J_{\text{но}}$ – момент инерции поперечного сечения относительно нейтральной оси.

Наибольшей величины касательное напряжение τ_{max} достигает в точках на нейтральной оси (при максимальном статическом моменте площади полусечения $S_{\text{но}}^{\text{отс}} = S_{\text{max}}$)

$$\tau_{\text{max}} = \frac{Q \cdot S_{\text{max}}}{b \cdot J_{\text{но}}}. \quad (8.2)$$

Нормальные же напряжения в поперечных сечениях точек, лежащих на нейтральной оси, равны нулю. Частный случай плоского напряженного состояния, при котором на гранях элементарного параллелепипеда возникают только касательные напряжения, называется чистым сдвигом (рисунок 8.1 а). Соответственно грани элемента или площадки, по которым действуют только касательные напряжения, называются площадками чистого сдвига. В результате сдвига создается удлинение элемента по одной диагонали и укорочение – по другой (рисунок 8.1 б). В направлении растяжения и сжатия

диагоналей элемента возникают главные нормальные напряжения σ_1 и σ_3 (рисунок 8.1. в). Главными называются напряжения действующие по главным площадкам. Главные площадки наклонены под углом 45° по отношению к площадкам чистого сдвига. На главных площадках касательные напряжения равны нулю, а нормальные достигают экстремального значения (растягивающее напряжение считается положительным, сжимающее – отрицательным).

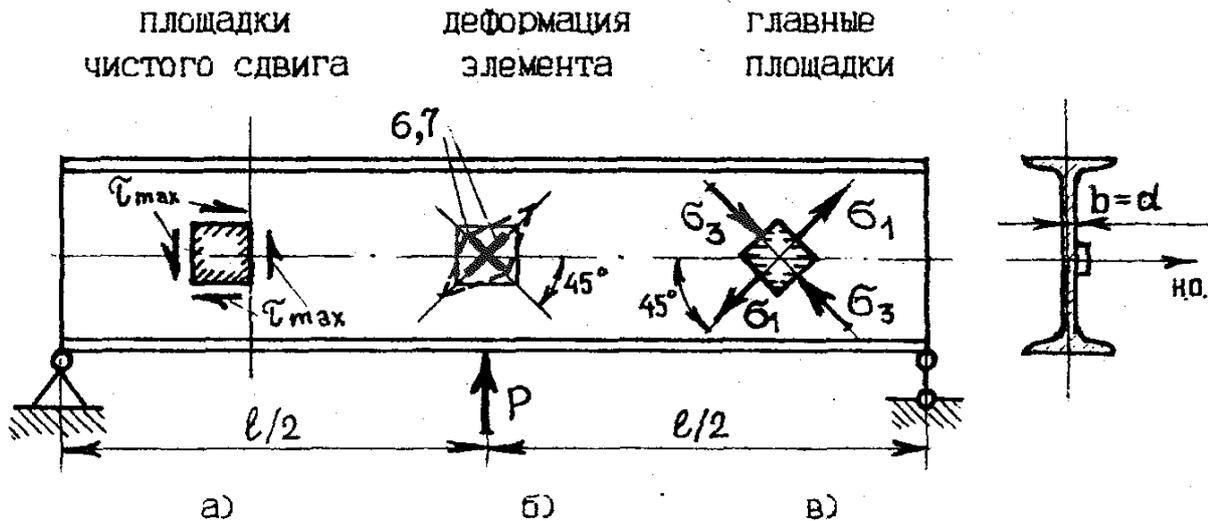


Рисунок 8.1

Для определения опытной величины максимального касательного напряжения применяется характерное для чистого сдвига равенство между максимальным касательным и главными нормальными напряжениями

$$\tau_{\max} = \sigma_1 = \left| -\sigma_3 \right|, \quad (8.3)$$

где σ_1, σ_3 – наибольшие растягивающее и сжимающее главные нормальные напряжения.

При проведении опыта используется метод электротензометрирования, краткие сведения о котором даны в лабораторной работе 7. Основной элемент метода – тензодатчики, предназначены для измерения только деформации растяжения или сжатия и не реагируют на касательные напряжения. Поэтому опытным путем измеряются деформации элемента (рисунок 8.1. б) по направлениям главных напряже-

ний σ_1 , σ_3 с помощью двух тензорезисторов 6, 7 и прибора ИДЦ-1. Переход от деформаций к напряжениям осуществляется на основании закона Гука. Для напряженного состояния чистого сдвига формула для вычисления опытных значений напряжений имеет вид

$$\tau_{\max}^{\circ} = \sigma_1^{\circ} = \left| -\sigma_3^{\circ} \right| = \frac{E}{1+\mu} \Delta V_{\text{ср}} m, \quad (8.4)$$

где E , μ – модуль продольной упругости и коэффициент поперечной деформации, соответственно. Для стали $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, $\mu = 0,25$;

$\Delta V_{\text{ср}}$ – среднее значение приращений показаний прибора ИДЦ-1 ΔV_6 и ΔV_7 по датчикам 6 и 7 (положительное значение ΔV соответствует σ_1 , отрицательное – σ_3)

$$\Delta V_{\text{ср}} = \frac{\Delta V_{6\text{ср}} + \Delta V_{7\text{ср}}}{2}; \quad (8.5)$$

$m = 10^{-5}$ – коэффициент прибора ИДЦ-1.

Порядок выполнения работы

1. Определить пролет балки, выписать необходимые геометрические характеристики двутаврового (ГОСТ 8239-89) поперечного сечения.
2. Загрузить балку предварительной нагрузкой. Установить индикатор нагружающего устройства на нулевое деление.
3. Последовательно увеличивать нагрузку равными ступенями ΔP , снимая показания прибора ИДЦ-1 по датчикам 6 и 7.
4. Найти среднюю величину приращений показаний прибора по датчикам на ступень нагрузки (формула (8.5)). Вычислить опытное значение максимального касательного напряжения по формуле (8.4).
5. Построить эпюру поперечной силы для расчетной схемы балки, приняв $P = \Delta P$. Определить величину поперечной силы. Используя найденную величину силы, рассчитать по формуле (8.2) теоретическое значение касательного напряжения.
6. Показать примерный вид эпюры касательного напряжения по высоте сечения балки, обозначить найденные значения напряжений.
7. Вычислить погрешность опыта.

Отчет о работе

1. Название и цель работы.

2. Необходимые размеры :

пролет балки $l =$;

профиль поперечного сечения балки – двутавр № ;

статический момент полусечения $S_{max} =$;

толщина стенки балки $b = d =$;

осевой момент инерции сечения $J_{no} =$.

3. Коэффициент прибора для измерения деформации $m =$.

4. Показания прибора ИДЦ-1 .

Таблица 8.1 – Результаты опыта

Нагрузка, кН		Отсчеты (в делениях шкалы прибора) в точках			
		6		7	
P	ΔP	V6	$\Delta V6$	V7	$\Delta V7$
Средние значения		$\Delta V_{ср} =$		$\Delta V7_{ср} =$	
Среднее значение приращений		$\Delta V_{ср} = \frac{\Delta V_{ср} + \Delta V7_{ср}}{2} =$			

5. Опытное значение касательного напряжения τ_{max}^o по формуле (8.4):

$$\tau_{max}^o = \frac{E}{1+m} \Delta V_{ср} m =$$

6. Рисунок 8.1 и расчетная схема балки. Эпюра поперечной силы при $P = \Delta P$. Величина поперечной силы $Q =$.

7. Теоретическое значение максимального касательного напряже-

ния (формула (8.2))

$$\tau_{\max} = \frac{Q \cdot S_{\max}}{b \cdot J_{\text{но}}} =$$

8. Поперечное сечение балки и примерный вид эпюры касательного напряжения по высоте сечения с указанием на эпюре величины найденных из теории и опыта напряжений.

9. Погрешность опыта

$$\delta = \frac{\tau_{\max} - \tau_{\max}^{\circ}}{\tau_{\max}} \cdot 100\% =$$

Контрольные вопросы

1. С каким внутренним силовым фактором связано появление в поперечных сечениях балки касательного напряжения?
2. Запишите формулу Д. И. Журавского для расчета касательного напряжения и поясните смысл входящих в нее величин.
3. Для какой части площади поперечного сечения двутавра определяется наибольшая величина статического момента S_{\max} , входящего в формулу (8.2)?
4. Что называют чистым сдвигом? В каких направлениях имеет место это напряженное состояние?
5. Какие напряжения называются главными? Их обозначение?
6. Как расположены главные площадки по отношению к площадкам чистого сдвига?
7. С помощью какого метода измеряют деформации сдвига при проведении опыта?
8. Какую упругую постоянную материала необходимо знать, чтобы определить нормальные напряжения по измеренным деформациям?

РАБОТА 9 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОГИБА И УГЛА ПОВОРОТА КОНСОЛЬНОЙ БАЛКИ ПРИ ИЗГИБЕ

Цель работы: определить опытным путем прогиб и угол поворота поперечных сечений консольной балки при прямом поперечном изгибе и сравнить их с теоретическими величинами.

Основные положения

Изгибом называется такой вид нагружения, при котором в поперечных сечениях бруса возникают изгибающие моменты. Брус, который работает на изгиб, принято называть балкой.

Если все внешние силы, включая и реакции связей, лежат в одной из главных плоскостей инерции сечения и пересекают продольную ось балки под углом 90° , то имеет место прямой (плоский) изгиб.

Общий случай прямого изгиба, при котором в сечении изгибающий момент и поперечная сила не равны нулю, называется поперечным прямым изгибом. Если в поперечном сечении балки поперечная сила равна нулю, и действует только один изгибающий момент, то такой вид изгиба называется чистым прямым изгибом.

Под действием внешних сил, вызывающих прямой изгиб балки, её первоначально прямая ось искривляется, превращаясь в кривую линию, которая называется изогнутой осью балки.

Вследствие искривления оси балки центр тяжести S поперечного сечения получает линейное перемещение, перпендикулярное к оси недеформированной балки, которое называется прогибом f , а поперечное сечение, оставаясь плоским и нормальным к изогнутой оси балки, поворачивается вокруг нейтральной оси на угол θ , который называется углом поворота сечения (рисунок 9.1).

Максимальный прогиб называется стрелой прогиба и обозначается f .

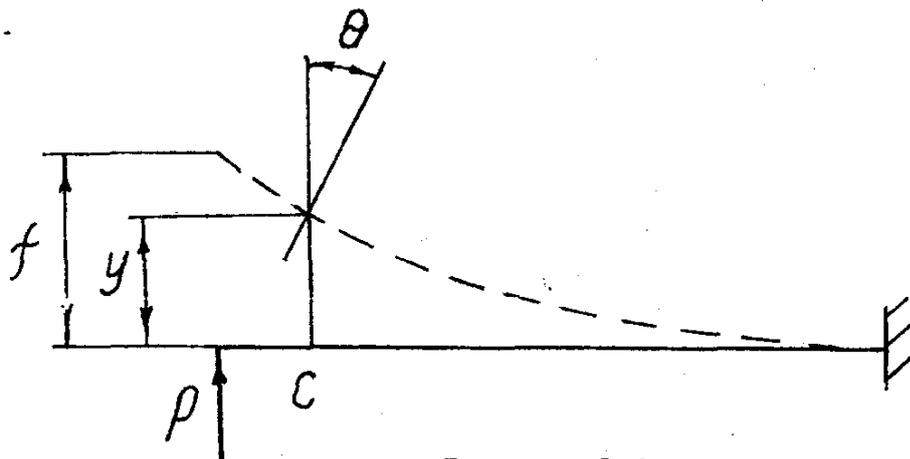


Рисунок 9.1

Определение перемещений (прогибов и углов поворота), возникающих в любой стержневой системе, производится с помощью интеграла О. Мора:

$$\delta = \sum_{i=1}^n \int_{l_i} \frac{MM_1}{EJ} dx, \quad (9.1)$$

где δ – искомое перемещение;

M – аналитическое выражение изгибающего момента в произвольном сечении балки от заданной нагрузки;

M_1 – аналитическое выражение изгибающего момента в произвольном сечении балки от единичной нагрузки, приложенной по направлению искомого перемещения;

EJ – жесткость поперечного сечения балки при изгибе.

Определение перемещений в системах, состоящих из прямолинейных элементов постоянной жесткости, можно значительно упростить, пользуясь формулой А. К. Верещагина

$$\delta = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\Omega \cdot M_c^1}{EJ} \right) l_i, \quad (9.2)$$

где δ – искомое перемещение (линейное или угловое) поперечного сечения балки;

Ω – грузовая площадь эпюры изгибающего момента от заданной нагрузки;

M_c^1 – ордината изгибающего момента от единичной нагрузки, расположенная под центром тяжести грузовой площади Ω .

Пользуясь для определения перемещений поперечных сечений балок формулой А. К. Верещагина, необходимо помнить, что каждый участок балки должен удовлетворять трем условиям:

1) жесткость балки в пределах каждого участка должна быть постоянной;

2) эпюра изгибающих моментов от заданной нагрузки может быть очерчена любой линией (прямой или кривой), но обязательно, чтобы вся площадь этой эпюры на этом участке располагалась по одну сторону от оси эпюры, то есть все ординаты изгибающих моментов были бы с одним знаком в пределах участка;

3) эпюра изгибающих моментов от единичной нагрузки должна быть в пределах участка линейна, то есть очерчена одной прямой без излома.

Лабораторная работа выполняется на установке, схема которой представлена на рисунке 9.2. Установка состоит из металлического стола 1, на котором неподвижно закреплен одним концом испытуемый

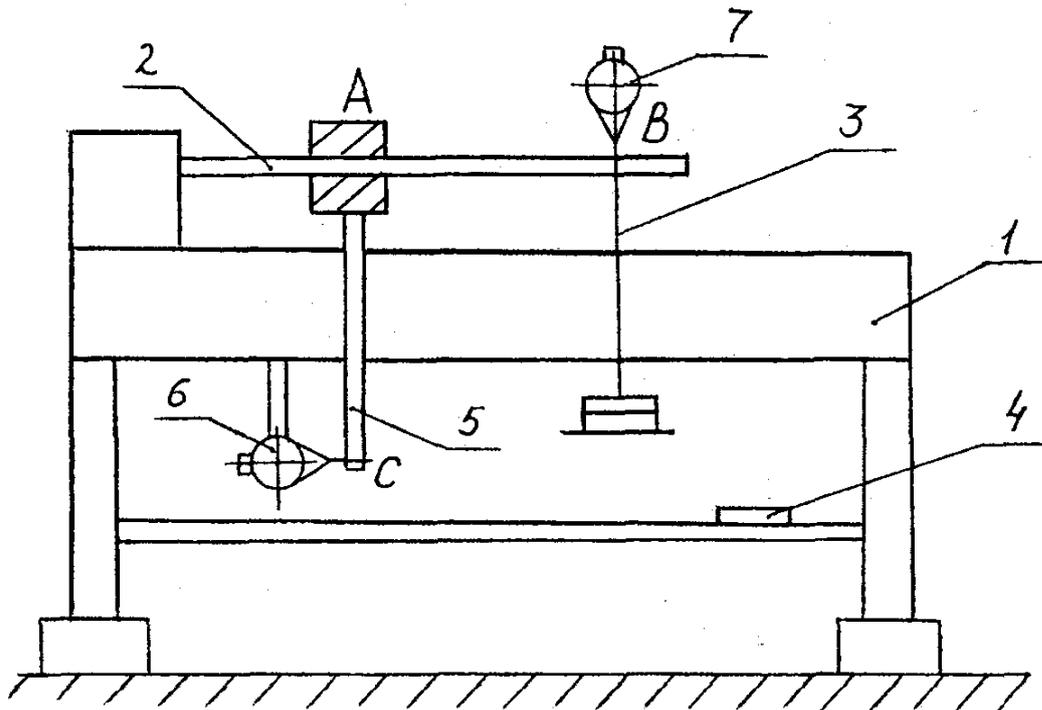


Рисунок 9.2

образец 2, двух колонн, соединенных стяжкой, гиревого подвеса 3 и набора грузов 4. Гиревой подвес 3 и стержень 5 могут передвигаться вдоль образца и фиксироваться в любой точке его рабочей длины. При помощи индикатора часового типа 6 измеряют линейное перемещение точки С стержня АС. Определение величины прогиба сечения В осуществляется с помощью индикатора 7.

Порядок выполнения работы

1. Замерить размеры поперечного сечения образца.
2. Замерить величины l_0 , l , l_1 (рисунок 9.3).
3. Привести ножки индикаторов 6 и 7 в соприкосновение с поверхностью балки и стержня АС.
4. Нагрузить образец предварительной нагрузкой, например, $P_0 = 5$ Н.
5. Плавно увеличивать нагрузку равными ступенями, например, $\Delta P = 10$ Н, записывая каждый раз показания индикаторов 6 и 7. Число ступеней нагружения принять 2...3.

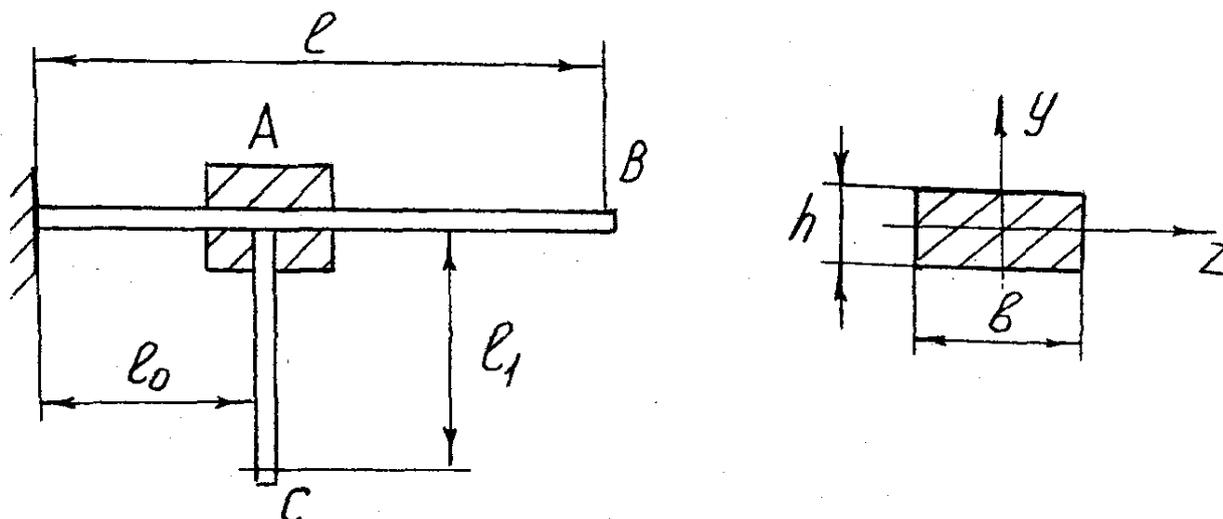


Рисунок 9.3

6. По показаниям индикаторов 6 и 7 вычислить среднюю величину линейного перемещения (прогиб) сечения В балки и сечения С стержня АС

$$y_B^0 = \Delta y_{Bcp} \cdot K, \quad (9.3)$$

$$y_C^0 = \Delta y_{Ccp} \cdot K, \quad (9.4)$$

где y_B^0 и y_C^0 — опытные значения линейных перемещений соответственно сечений В и С, вызванных ступенью нагружения ΔP :

Δy_{Bcp} и Δy_{Ccp} — средние приращения показаний индикаторов 6 и 7, вызванные ступенью нагружения;

K — цена деления индикатора, равна 0,01 мм.

7. Определить опытное значение угла поворота сечения А

$$\theta_A^0 = \frac{y_C^0}{l_1}. \quad (9.5)$$

8. Определить по формуле (9.2) теоретические значения прогиба y_B^T и угла поворота θ_A^T , вызванные ступенью нагружения ΔP .

9. Сравнить опытные значения y_B^0 и θ_A^0 с теоретическими и вычислить погрешность

$$\delta_y = \frac{y_B^T - y_B^0}{y_B^T} \cdot 100\% , \quad (9.6)$$

$$\delta_\theta = \frac{\theta_A^T - \theta_A^0}{\theta_A^T} \cdot 100\% . \quad (9.7)$$

Отчет о работе

1. Название и цель работы.
2. Схема нагружения балки.
3. Размеры поперечного сечения балки: $b =$, $h =$.
4. Измерительные приборы.
5. Цена деления прибора $K =$.
6. Расстояние от заделки до точки приложения нагрузки $l =$.
7. Расстояние от заделки до сечения А, угол поворота которого определяется $\varphi_0 =$.
8. Расстояние от оси балки до ножки индикатора $b - l_1 =$.
9. Результаты опыта,

Таблица 9.1 – Результаты опыта

Величина нагрузки P, H	Степень нагрузки $\Delta P, H$	Показания индикатора 7 (линейное перемещение y_B)	Приращение показаний индикатора 7 Δy_B	Показания индикатора 6 (линейное перемещение y_C)	Приращение показаний индикатора 6 Δy_C
Среднее значение			$\Delta y_{B\text{ср}} = \frac{\sum \Delta y_B}{n} =$	$\Delta y_{C\text{ср}} = \frac{\sum \Delta y_C}{n}$	

10. Определение теоретического значения линейного перемещения сечения В и угла поворота сечения А по правилу А. К. Верещагина.
11. Теоретические и опытные значения перемещений.

Таблица 9.2

Теоретическое значение y_B^T , мм	Теоретическое значение θ_A^T , рад	Опытное значение y_B^o , мм	Опытное значение y_C^o , мм	Опытное значение θ_A^o , рад	Погрешность δy , %	Погрешность $\delta \theta$, %

12. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что называется изгибом?
2. Что называется прямым изгибом?
3. Что называется прогибом и углом поворота поперечного сечения балки при изгибе?
4. Как определяются теоретически прогиб и угол поворота сечения балки при изгибе?
5. Что называется стрелой прогиба?
6. В чем заключается сущность правила А. К. Верещагина для определения перемещений?
7. Как определяется опытным путем прогиб свободного конца балки и угол поворота произвольного сечения балки?

РАБОТА 10

ИСПЫТАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ НА СРЕЗ

Цель работы: определение предела прочности стали при срезе.

Основные положения

Вид нагружения, при котором в поперечном сечении стержня возникает только один внутренний силовой фактор – поперечная сила (а остальные равны нулю), называется сдвигом.

При работе некоторых элементов конструкций, деталей машин и

аппаратов возникающая в них поперечная сила является, хотя и не единственным, но основным внутренним силовым фактором. Разрушение в таком случае происходит путём скола или среза материала.

Так, при резке ножницами, где расстояние A между ножами мало, изгибающий момент также близок к нулю (рисунок 10.1). Появляющаяся после клёпки продольная сжимающая сила обычно также много меньше рабочего усилия P , вызывающего в заклёпке поперечную силу (рисунок 10.2). В аналогичных условиях работают сварные швы (рисунок 10.3), штифты, шпонки, шлицы, оси и др.

Для таких конструкций одним из основных видов расчета является расчет прочности при срезе. Условие прочности:

$$\tau_{max} \leq [\tau], \quad (10.1)$$

где τ_{max} – величина касательного напряжения в опасном сечении;

$[\tau]$ – допускаемое напряжение при срезе, $[\tau] = \tau_B / n$;

τ_B – предел прочности при срезе материала конструкции;

n – коэффициент запаса прочности.

Предел прочности при срезе для каждого материала устанавливается по результатам испытаний по формуле:

$$\tau_B = \frac{P_B}{F}, \quad (10.2)$$

где P_B – разрушающая нагрузка;

F – площадь среза.

Для стали предел прочности при срезе составляет 60...80% от предела прочности при растяжении.

Отметим, что проведение расчетов на срез по формулам (10.1) и (10.2) основано на следующих допущениях:

1) в поперечном сечении возникает только один внутренний силовой фактор – поперечная сила;

2) касательные напряжения распределяются равномерно по площади среза;

3) при наличии двух и более поверхностей среза нагрузка между ними распределяется равномерно.

В данной работе используется универсальная машина модели УМ-5. В захватах машины (рисунок 10.4) закреплены вилка 1 и пластина 2, в которых выполнены сквозные соосные отверстия.

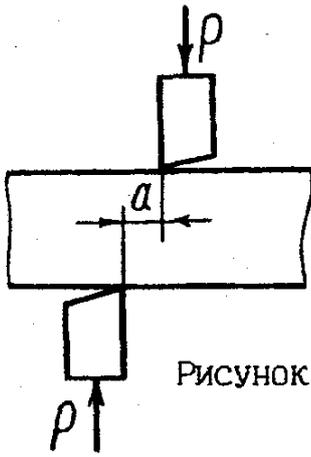


Рисунок 10.1

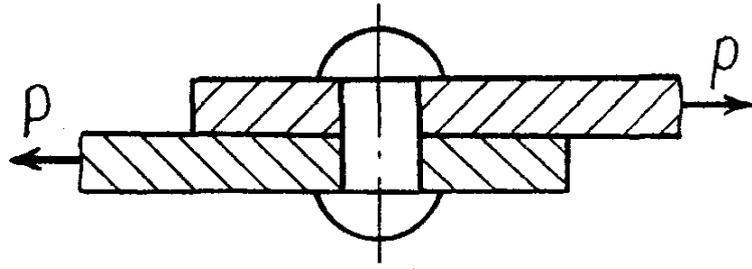


Рисунок 10.2

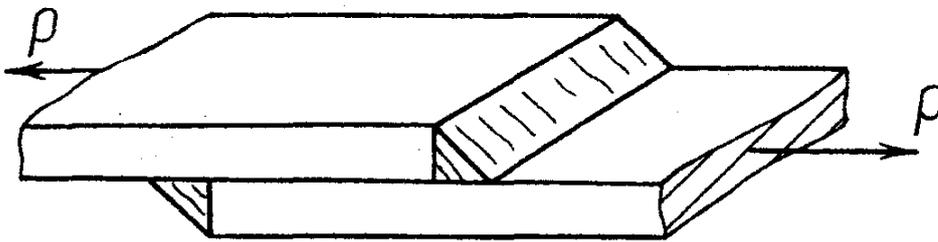


Рисунок 10.3

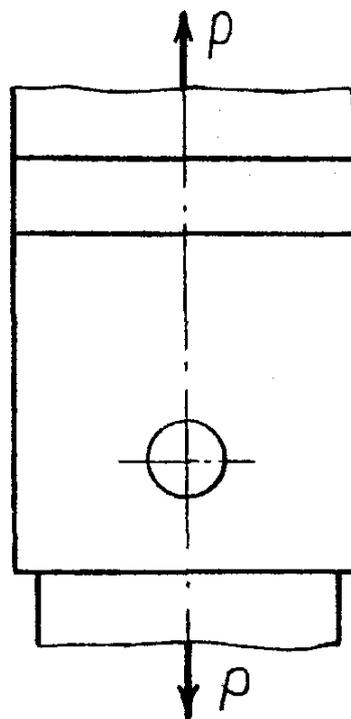
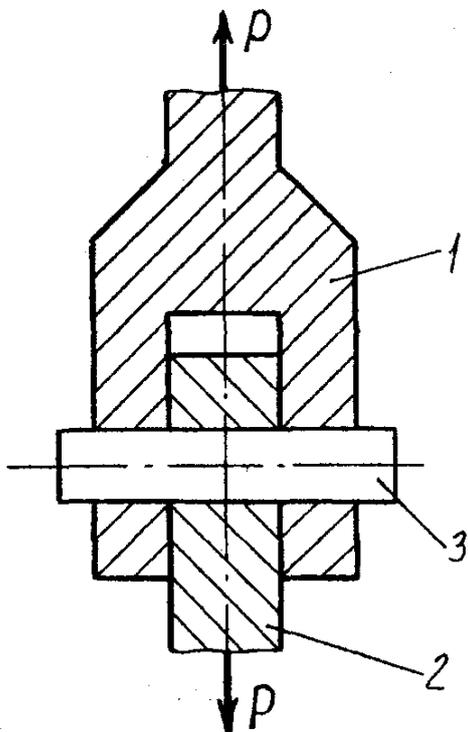


Рисунок 10.4

Испытуемый образец 3 в виде стального цилиндра устанавливается в указанные отверстия, образуя штифтовое соединение.

Внешняя нагрузка P создается при перемещении подвижного захвата машины. Разрушение происходит одновременно по двум плоскостям образца (двойной срез). Площадь среза равна удвоенной площади поперечного сечения образца до испытания:

$$F = 2 \cdot \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi d^2}{2}, \quad (10.3)$$

где d – диаметр образца.

Порядок выполнения работы

1. С помощью штангенциркуля измерить диаметр образца.
2. Установить образец в приспособление машины.
3. Осуществляя нагружение, следить по шкале силоизмерителя за возрастанием нагрузки. Зафиксировать нагрузку, разрушившую образец.
4. Вычислить предел прочности при срезе.

Контрольные вопросы

1. Какой вид нагружения называется сдвигом?
2. Действию каких напряжений подвержены заклепки, штифты, шпонки, разрушающиеся путем среза?
3. Укажите на рисунках 10.1...10.4 поверхности среза.
4. Как вычисляется предел прочности при срезе?
5. Существует ли взаимосвязь между прочностью материала при срезе и при растяжении?
6. Какие допущения принимаются при расчетах на срез?
7. Что представляет собой приспособление для испытания образца на срез?

Отчет о работе

1. Наименование и цель работы.
2. Эскиз образца с размерами и схема его нагружения.

3. Результаты опыта

Таблица 10.1 – Результаты опыта

Материал образца	Площадь среза $F = \frac{\pi d^2}{4}$ (мм ²)	Разрушающая нагрузка P_B , кгс и Н	Предел прочности при срезе $\tau_B = \frac{P_B}{F}$ (МПа)

4. Ориентировочное значение предела прочности при растяжении данного материала.

5. Выводы.

РАБОТА 11 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ

Цель работы: определить ударную вязкость стали и чугуна при испытании стандартных образцов на маятниковом копре.

Основные положения

Механические характеристики материала в значительной мере зависят от скорости приложения нагрузки. Характеристики, полученные при статических испытаниях, не могут служить для оценки способности материала сопротивляться ударной нагрузке. Чтобы оценить способность различных материалов переносить ударную нагрузку и выявить их склонность к хрупкому разрушению, применяют испытание материалов при ударной нагрузке, т. е. проводят испытание на ударную вязкость и определяют характеристику вязкости материала.

Под ударной вязкостью следует понимать работу, затраченную на разрушение образца и отнесенную к начальной площади поперечного сечения этого образца в месте концентратора. Метод испытания основан на разрушении образца с концентратором посередине одним ударом маятникового копра. Концы образца располагают на опорах (рисунок 11.1).

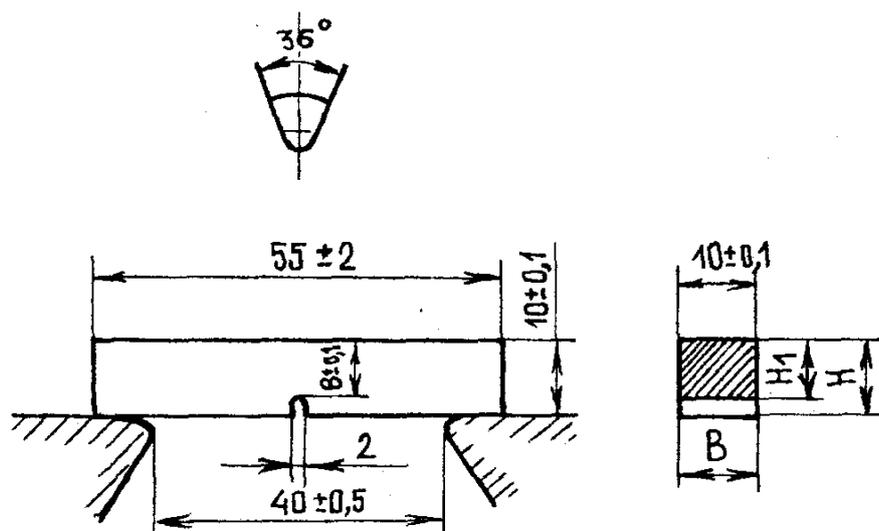


Рисунок 11.1

Ударную вязкость (КС) в Дж/м² (кгс·м/см²) определяют по формуле:

$$КС = \frac{A_n}{F_0}, \quad (11.1)$$

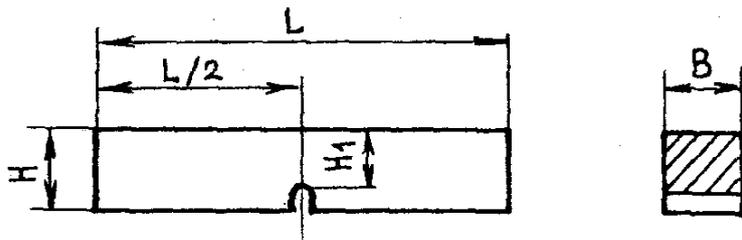
где A_n – работа, затраченная на излом образца, Дж (кгс·м);

F_0 – начальная площадь поперечного сечения образца в месте концентратора, м² (см²), определяемая по формуле $F_0 = H_1 \cdot B$.

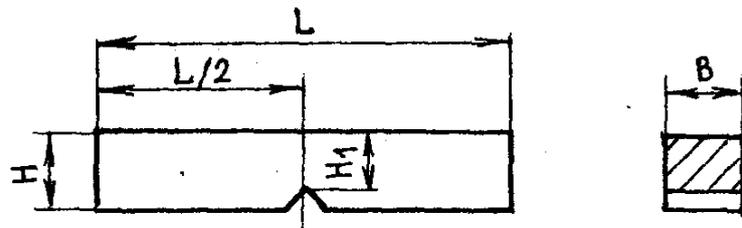
Величина ударной вязкости зависит от материала образца, от его размеров и формы, а также от формы ударяющего тела. Поэтому испытание необходимо проводить в строгом соответствии с требованиями стандартов в отношении формы, размеров образца и соблюдения условий приложения ударной нагрузки для получения сравнимых результатов для данного материала.

В зависимости от вида концентратора на образце (рисунок 11.2) ударную вязкость различают и обозначают:

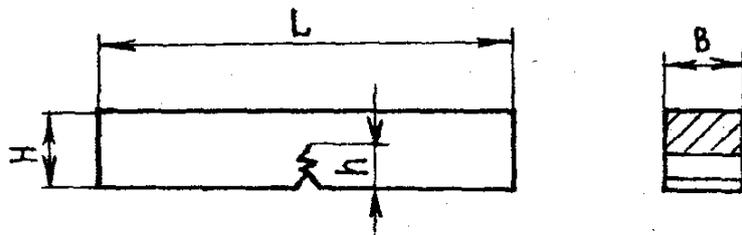
КС_U – ударная вязкость, определенная на образце с концентратором вида U при комнатной температуре, максимальная энергия удара маятника 300 Дж (30 кгс·м), глубина концентратора 2 мм, ширина образца 10 мм. Образцы с концентратором U применяются в общем машиностроении, когда не оговорены другие виды концентратора.



Образец с надрезом вида U



Образец с надрезом вида V



Образец с надрезом вида T
(усталостная трещина)

Рисунок 11.2

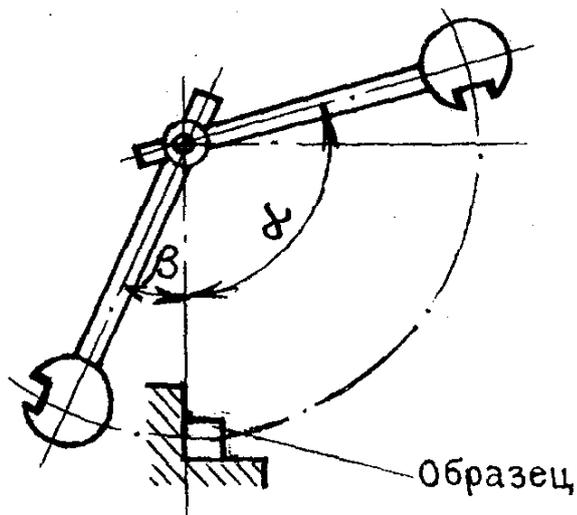


Рисунок 11.3

торов.

KCV – ударная вязкость, определенная на образце с концентратором вида V при комнатной температуре, максимальная энергия удара маятника 300 Дж, глубина концентратора 2 мм, ширина образца 10 мм. Образцы с концентратором вида V применяются при контроле металлов и сплавов для конструкций повышенной степени надежности (летательные аппараты, транспортные средства, трубопроводы, сосуды давления и т. п.).

KCT – ударная вязкость, определенная на образце с концентратором вида T (усталостная трещина). Образцы с концентратором вида T применяются для контроля металлов и сплавов для особо ответственных конструкций, для эксплуатации которых оценка сопротивления развитию трещины имеет первостепенное значение. Ударная вязкость KCT определяется также при авариях и разрушениях ответственных конструкций.

Для обозначения ударной вязкости при пониженной и повышенной температурах вводится цифровой индекс, указывающий температуру испытания. Например: KCV⁻⁴⁰ – ударная вязкость, определенная на образце с концентратором вида V при температуре минус 40°С. KCT⁺¹⁰⁰ – ударная вязкость, определенная на образце с концентратором вида T при температуре плюс 100°С.

В настоящей работе определение ударной вязкости стали и чугуна производится на образцах с концентратором вида U (KCU). Разрушение образцов производится на маятниковом копре с предельной энергией 300 Дж (30 кгс·м), схема испытаний представлена на рисунке 11.3 (α – угол взведенного маятника, β – угол взлета маятника после разрушения образца).

При действии ударной нагрузки мгновенно выделяется большое количество энергии. Вязкие стали требуют для разрушения большее количество работы, чем хрупкие, то есть они лучше противостоят ударной нагрузке.

Изучение вязкости материалов имеет большое практическое значение. Детали землеройных машин, кузнечных молотов, ткацких станков и других механизмов работают под действием ударной нагрузки. Следовательно, детали этих машин должны изготавливаться из вязких материалов. Стали, применяемые для изготовления деталей, работающих при ударной нагрузке, должны иметь ударную вязкость не менее 8–10 кгс·м/см².

Ударная вязкость является удельной величиной, так как при ее определении берется площадь сечения образца в месте надреза. На самом деле, работа, затраченная на деформацию и разрушение образца, поглощается всем объемом материала.

У большинства деформируемых цветных металлов (алюминий, медь и многие их сплавы) не представляется возможным определить ударную вязкость вследствие высокой пластичности этих материалов. Испытания на ударный изгиб надрезанных образцов также не целесообразны в отношении многих литых сплавов (чугуны, литейные магниевые сплавы), которые крупно разрушаются при обычных статических испытаниях на растяжение. Хотя никакой связи между ударной вязкостью и характеристиками прочности, определяемыми при статических испытаниях на растяжение и изгиб, не существует, у конструкционных сталей с более высокими значениями предела прочности ударная вязкость имеет обычно сниженные значения и наоборот.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством маятникового копра. Обратит внимание на вопросы техники безопасности при проведении ударных испытаний, изложенные преподавателем.

2. Замерить размеры испытываемого образца.

3. Слегка отклонить маятник в рабочем направлении и положить образец на опоры копра так, чтобы удар падающего маятника приходился со стороны образца, противоположной надрезу, а надрез находился в одной плоскости с острием ножа маятника.

4. Поднять раму копра на высоту, соответствующую задаваемой энергии удара. Не рекомендуется задавать чрезмерно большую энергию удара по сравнению с требуемой для разрушения образца, так как это снижает точность результатов испытания.

5. Поднять маятник до срабатываения защелки рамы и закрепить защелку стопором.

6. По шкале копра записать величину запасенной маятником энергии A_1 (кгс·м).

7. Открыть стопор защелки рамы и посредством рукоятки освободить защелку. При этом маятник свободно падает, разрушая образец.

8. По шкале копра записать величину оставшейся у маятника энергии A_2 (кгс·м).

9. Вычислить работу, затраченную на разрушение образца

$$A_n = A_1 - A_2 .$$

10. Вычислить ударную вязкость материала образца КСЦ по зависимости 11.1.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под ударной вязкостью?
2. Какова классификация ударной вязкости по виду концентратора на образце?
3. Каковы области применения концентраторов вида U, V и T?
4. Как устроен маятниковый копер?
5. Для чего делают надрез на металлических образцах?
6. Как определяется работа, затрачиваемая на разрушение образца?
7. Что характеризует ударная вязкость у материала?

Отчет о работе

1. Название и цель работы, наименование и тип испытательной установки.
2. Эскизы образца до и после испытания. Размеры образца до испытания.
3. Схема установки образца на опорах маятникового копра и схема его разрушения (рисунок 11.3).
4. Результаты замеров и расчетов по п.п. 8, 9 и 10 порядка выполнения работы.

РАБОТА 12 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТЕОРИИ ВНЕЦЕНТРЕННОГО РАСТЯЖЕНИЯ

Цель работы: проверка расчетных формул для определения напряжений в поперечном сечении стержня при внецентренном растяжении.

Основные положения

Внецентренным растяжением называется такой вид нагружения,

когда в поперечном сечении бруса одновременно действуют продольная сила и изгибающий момент.

При внецентренном растяжении линия действия внешней силы P (линия CD) не совпадает с продольной осью бруса (ось X), а смещена относительно оси и параллельна ей (рисунок 12.1). Величина смещения внешней силы P относительно продольной оси X бруса называется эксцентриситетом e .

Определим внутренние силовые факторы, возникающие в поперечном сечении бруса. Воспользуемся методом сечения. Для этого произвольным образом проведем сечение $m-n$ и отбросим одну из отсеченных частей бруса, например, левую. Изобразим правую отсеченную часть бруса, показанную на рисунке 12.2. Через центр тяжести сечения O проведем оси координат OY и OZ . При этом будем полагать

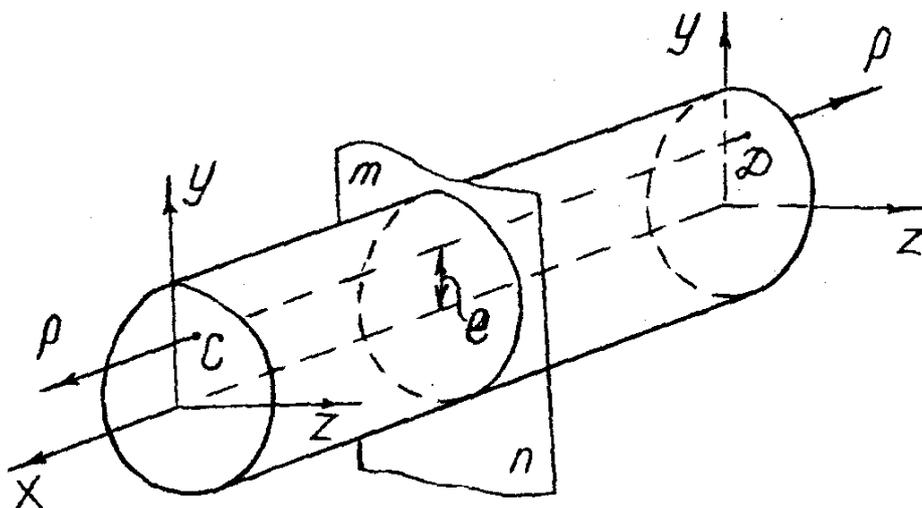


Рисунок 12.1

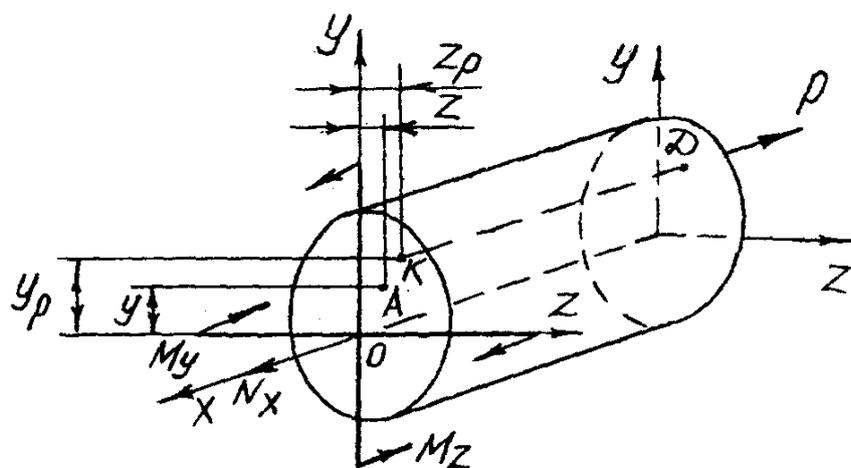


Рисунок 12.2

гать, что оси OY и OZ являются главными центральными осями инерции сечения. Положительные направления для осей OY и OZ выберем так, чтобы точка K линии действия внешней силы P принадлежала первой четверти.

Из условия равновесия оставшейся отсеченной части бруса найдем внутренние силовые факторы:

$$\left. \begin{aligned} \sum X &= 0 ; N_x = P \\ \sum MY &= 0 ; M_y = P \cdot Z_p \\ \sum MZ &= 0 ; M_z = P \cdot Y_p \end{aligned} \right\} \quad (12.1)$$

Определим напряжения в произвольной точке A поперечного сечения бруса. При этом будем полагать, что материал бруса работает в пределах закона Гука и обладает достаточной жесткостью. Тогда, в соответствии с принципом независимости действия сил, напряжения в произвольной точке A с координатами Y и Z будут складываться из напряжений осевого растяжения силой N и напряжений от чистого изгиба моментами M_y и M_z :

$$\sigma = \frac{N_x}{F} + \frac{M_y}{J_y} \cdot Z + \frac{M_z}{J_z} \cdot Y, \quad (12.2)$$

где F — площадь поперечного сечения бруса;

J_y, J_z — главные центральные моменты инерции сечения относительно осей Y и Z , соответственно.

Подставив уравнения (12.1) в формулу (12.2), получим:

$$\sigma = \frac{P}{F} + \frac{P \cdot Z_p}{J_y} \cdot Z + \frac{P \cdot Y_p}{J_z} \cdot Y. \quad (12.3)$$

Для частного случая внецентренного растяжения бруса прямоугольного сечения, когда точка приложения силы P лежит на главной центральной оси инерции Z (рисунок 12.3), в любом поперечном сечении бруса возникает продольная сила $N_x = P$ и изгибающий момент $M_y = P \cdot e$.

На основании принципа независимости действия сил нормальные напряжения равны

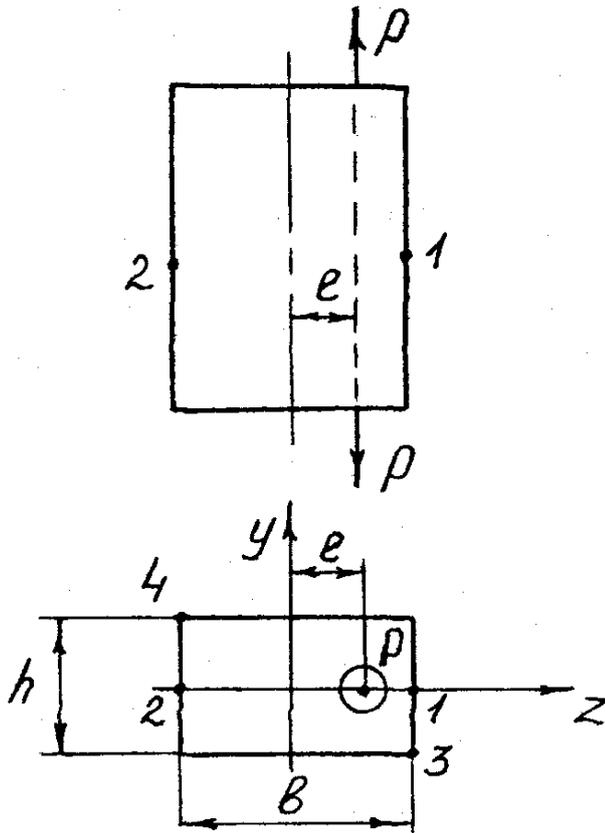


Рисунок 12.3

$$\sigma = \sigma_{N_x} + \sigma_{M_y} , \quad (12.4)$$

где σ_{N_x} – нормальное напряжение, вызванное действием продольной силы N_x , равное $\sigma_{N_x} = P/F$;
 σ_{M_y} – нормальное напряжение, вызванное действием изгибающего момента M_y , равное $\sigma_{M_y} = M_y \cdot z / J_y$.

Тогда нормальные напряжения в точках 1 и 2 поперечного прямоугольного сечения определяются по формулам

$$\sigma_1 = \frac{P}{F} + \frac{P \cdot e}{J_y} \cdot z_1 , \quad (12.5)$$

$$\sigma_2 = \frac{P}{F} - \frac{P \cdot e}{J_y} \cdot z_2 , \quad (12.6)$$

где z_1 и z_2 – координаты точек 1 и 2 в системе главных центральных осей инерции сечения ($z_1 = b/2$; $z_2 = b/2$).

Работа выполняется на испытательной машине с применением рычажных тензометров. Схема расположения тензометров на образце представлена на рисунке 12.4. При нагружении образца ступенями

снимают показания приборов, а затем, основываясь на законе Гука, $\sigma = E \cdot \varepsilon$, переходят от деформаций к напряжениям.

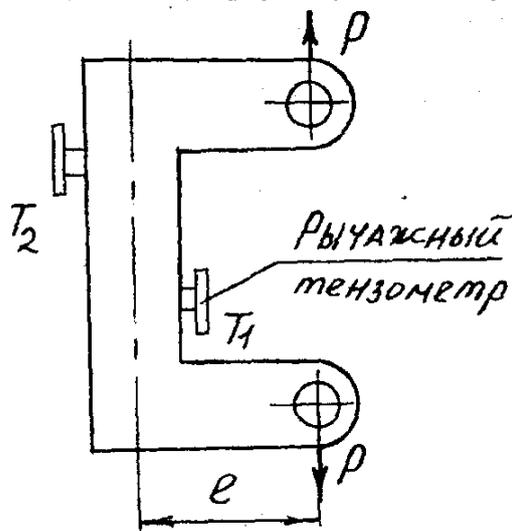


Рисунок 12.4

Порядок выполнения работы

1. Измерить размеры образца и величину смещения e .
2. По формулам (12.5) и (12.6) вычислить напряжения в точках 1 и 2 образца, подставляя вместо силы P ступень нагружения ΔP .
3. Дать на образец предварительную нагрузку, например, $P_0 = 100$ кгс и снять показания приборов T_1 и T_2 , приняв их за начало отсчета.
4. Нагружая образец последовательно ступенями, например, $\Delta P = 200$ кгс, записать показания тензометров в делениях. Число ступеней нагружения принять 3...4.
5. Определить средние значения приращений тензометров, вызванные ступенью нагружения ΔP .
6. По средним значениям приращений показаний тензометров найти опытные значения напряжений σ^o в точках 1 и 2 из выражения

$$\sigma^o = \frac{\Delta T_{cp}}{L} \cdot E \cdot K, \quad (12.7)$$

где ΔT_{cp} – среднее приращение показаний тензометра на ступень нагрузки;

K – цена деления прибора, равная 0,001 мм;

L – база тензометра, равная 20 мм;

E – модуль продольной упругости материала образца, равный $2,1 \cdot 10^5$ МПа.

7. По результатам опыта построить эпюру нормальных напряжений в сечении образца. Показать нулевую линию (нейтральную ось).

8. Сравнить теоретические σ^T и опытные σ^o значения напряжений в обеих точках

$$\delta = \frac{\sigma^T - \sigma^o}{\sigma^T} \cdot 100 \% = \quad . \quad (12.8)$$

Контрольные вопросы

1. Что называется внецентренным растяжением?
2. Что называют эксцентриситетом приложения нагрузки?
3. Какие внутренние силовые факторы возникают в поперечном сечении бруса при внецентренном растяжении?
4. По какой формуле можно определить нормальное напряжение в любой точке сечения?
5. Запишите формулы для определения напряжений в точках 3 и 4 бруса (рисунок 12.3). Как они изменятся для случая, когда точка приложения силы P лежит на оси Y ($Y_p = e$)?
6. Какими приборами измеряют деформации в данной работе?
7. Нужно ли знать модуль продольной упругости при определении теоретических и опытных значений напряжений?
8. Укажите, в каких деталях или элементах конструкций встречается внецентренное растяжение (сжатие)?

Отчет о работе

1. Название и цель работы.
2. Испытательная машина.
3. Измерительные приборы.
4. Схема нагружения образца и расположение тензометров.
5. База тензометра: $L_1 =$, $L_2 =$.
6. Цена деления прибора: $K_1 =$, $K_2 =$.
7. Размеры образца и геометрические характеристики поперечного

сечения: $b =$; $J_y =$;
 $h =$; $J_z =$;
 $F =$;

Эксцентриситет $e =$

8. Результаты опыта .

Таблица 12.1

№	Величина нагрузки P, кгс	Степень нагрузки ΔP , кгс	Показания прибора (в делениях) в точках 1 и 2			
			Тензометр 1		Тензометр 2	
			T_1	ΔT_1	T_2	ΔT_2
Среднее значение			$\Delta T_{1cp} = \frac{\sum \Delta T_1}{n} =$		$\Delta T_2 = \frac{\sum \Delta T_2}{n} =$	

9. Теоретические и опытные значения напряжений .

Таблица 12.2

Теоретические значения напряжений, МПа	Опытные значения напряжений, МПа	Погрешность, %
$\sigma_1^T = \frac{P}{F} + \frac{P \cdot e}{J_y} \cdot z_1 =$	$\sigma_1^O = \frac{\Delta T_{1cp}}{L} \cdot E \cdot K =$	$\delta_1 = \frac{\sigma_1^T - \sigma_1^O}{\sigma_1^T} \cdot 100\% =$
$\sigma_2^T = \frac{P}{F} - \frac{P \cdot e}{J_y} \cdot z_2 =$	$\sigma_2^O = \frac{\Delta T_{2cp}}{L} \cdot E \cdot K =$	$\delta_2 = \frac{\sigma_2^T - \sigma_2^O}{\sigma_2^T} \cdot 100\% =$

10. По результатам опыта построить эпюру нормальных напряжений в сечении образца. Показать нулевую линию (нейтральную ось).

11. Выводы.

РАБОТА 13 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТЕОРИИ КОСОГО ИЗГИБА

Цель работы: проверка формул для определения величины и направления прогиба консольной балки при косом изгибе.

Основные положения

Косым изгибом называется такой вид изгиба, при котором плоскость действия изгибающего момента проходит через продольную ось бруса, но не совпадает ни с одной из главных центральных осей инерции поперечного сечения. При этом плоскость полного прогиба не совпадает как с главными плоскостями инерции, так и с плоскостью действия изгибающего момента.

Косой изгиб раскладывается на два прямых изгиба, происходящих в двух главных плоскостях инерции сечения (рисунок 13.1).

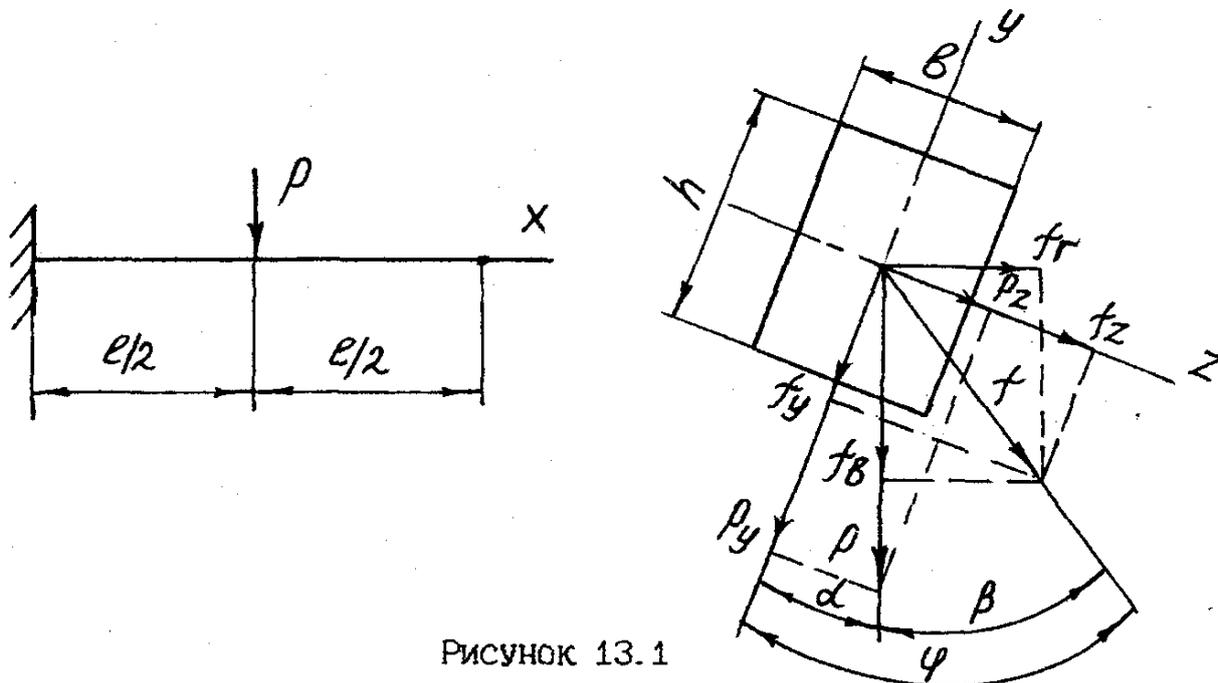


Рисунок 13.1

На основании принципа независимости действия сил (принципа суперпозиции) прогибы при косом изгибе определяются как геометрическая сумма прогибов, происходящих в двух главных плоскостях инерции сечения

$$f = \sqrt{f_y^2 + f_z^2}, \quad (13.1)$$

где f_y – прогиб в направлении главной центральной оси инерции Y;
 f_z – прогиб в направлении главной центральной оси инерции Z.
 Прогибы f_y и f_z определяются по правилу А. К. Верещагина или с помощью интеграла О. Мора.

Для консольной балки, жестко зашеченной одним концом и нагруженной, как показано на схеме (рисунок 13.1),

$$f_y = \frac{5P_y \cdot l^3}{48 \cdot E J_z} = \frac{5 \cdot \rho \cdot \cos \alpha \cdot l^3}{48 \cdot E J_z}, \quad (13.2)$$

$$f_z = \frac{5P_z \cdot l^3}{48 \cdot E J_y} = \frac{5 \cdot \rho \cdot \sin \alpha \cdot l^3}{48 \cdot E J_y}, \quad (13.3)$$

где P_y и P_z – проекции силы P на главные оси Y и Z;

l – длина балки;

α – угол между направлением силы P и осью Y;

E – модуль продольной упругости материала;

J_y , J_z – главные центральные моменты инерции сечения, определяемые по формулам:

$$J_y = \frac{b^3 h}{12}; \quad J_z = \frac{b h^3}{12}.$$

Угол β между направлением силы P и направлением полного прогиба балки f равен

$$\beta = \varphi - \alpha, \quad (13.4)$$

где
$$\varphi = \arctg \frac{f_z}{f_y} = \arctg \left(\frac{J_z}{J_y} \cdot \operatorname{tg} \alpha \right). \quad (13.5)$$

Определение прогибов балки при косом изгибе производится на установке (рисунок 13.2).

Балка 2 прямоугольного сечения одним концом жестко зашечена в кронштейне 1, а другой конец свободен. Балка нагружается грузами 3 с помощью подвески 4. Соединение балки с кронштейном позволяет изменять угол между направлением нагрузки и главными центральными осями инерции сечения. Прогиб свободного конца балки в процессе её нагружения определяется в двух плоскостях (верти-

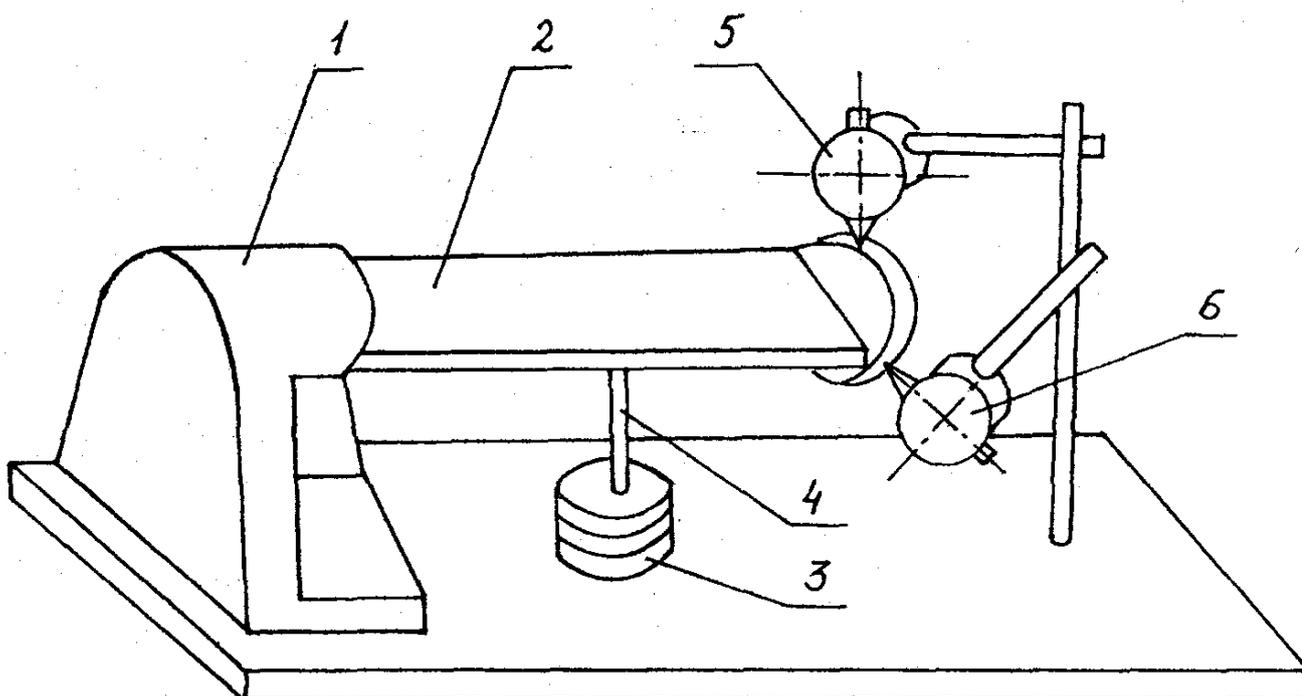


Рисунок 13.2

кальной и горизонтальной) с помощью индикаторов часового типа 5 и 6.

Порядок выполнения работы

1. Измерить длину консоли балки и размеры её поперечного сечения. Повернуть балку в шарнире кронштейна на заданный угол α и закрепить её стопорным винтом.

2. По формуле (13.1) с учетом зависимостей (13.2) и (13.3) найти величину прогиба f на ступень нагрузки ΔP .

3. По формуле (13.4) вычислить значение угла β .

4. Нагрузить балку предварительной нагрузкой, например, $P_0 = 5 \text{ Н}$ и установить стрелки индикаторов 5 и 6 на нуль.

5. Плавнo увеличить нагрузку равными ступенями, например, $\Delta P = 10 \text{ Н}$, записывая каждый раз показания индикаторов 5 и 6. Число ступеней нагружения n принять равным 3...4.

6. По показаниям индикаторов 5 и 6 вычислить среднюю величину составляющих прогиба в вертикальной и горизонтальной плоскостях

$$f_b^0 = \Delta f_{в\text{ср}} \cdot K, \quad (13.6)$$

$$f_r^0 = \Delta f_{г\text{ср}} \cdot K, \quad (13.7)$$

где f_b^0 и f_r^0 – опытные значения прогибов свободного конца балки соответственно в вертикальной и горизонтальной плоскостях, вызванных ступенью нагружения ΔP ;

$\Delta f_{в\text{ср}}$, $\Delta f_{г\text{ср}}$ – средние приращения показаний индикаторов 5 и 6, вызванных ступенью нагружения;

K – цена деления индикатора, равная 0,01 мм.

Опытное значение полного прогиба, вызванного ступенью нагружения

$$f^0 = \sqrt{(f_b^0)^2 + (f_r^0)^2}. \quad (13.8)$$

7. Определить опытное значение угла β^0 из выражения

$$\operatorname{tg} \beta^0 = \frac{f_r^0}{f_b^0}. \quad (13.9)$$

8. Сравнить теоретические и опытные значения величин f и β .

$$\delta_f = \frac{f^T - f^0}{f^T} \cdot 100\%, \quad (13.10)$$

$$\delta_\beta = \frac{\beta^T - \beta^0}{\beta^T} \cdot 100\%. \quad (13.11)$$

Отчет о работе

1. Название и цель работы.
2. Схема нагружения балки.
3. Измерительные приборы.
4. Цена деления прибора $K =$.
5. Размеры балки и геометрические характеристики поперечного сечения :

$$b = \quad ; \quad J_y = \quad ;$$

$$h = \quad ; J_z =$$

$$l = \quad ;$$

Угол между направлением силы и главной осью Y: $\alpha =$

6. Результаты опыта.

Таблица 13.1

Величина нагрузки Р, Н	Степень нагрузки $\Delta P, Н$	Показания индикатора 5 (вертикальное перемещение f_B)	Приращение показаний индикатора 5 Δf_B	Показания индикатора 6 (горизонтальное перемещение f_T)	Приращение показаний индикатора 6 Δf_T
Среднее значение			$\Delta f_{Bcp} = \frac{\sum \Delta f_B}{n} =$		$\Delta f_{Tcp} = \frac{\sum \Delta f_T}{n} =$

7. Теоретические и опытные значения.

Таблица 13.2

Теоретическое значение		Опытное значение				Погрешность			
прогиба $f_y, мм$	прогиба $f_z, мм$	полного прогиба $f_T, мм$	угла $\beta^T, град$	$f_B^o, мм$	$f_T^o, мм$	полного прогиба $f^o, мм$	угла $\beta^o, град$	$\delta_f, \%$	$\delta_\beta, \%$

8. Выводы.

Контрольные вопросы

1. В каком случае внешнего нагружения брус испытывает деформацию косоугольного изгиба?
2. На что раскладывается косоугольный изгиб?
3. Как определяются прогибы и углы поворота при косоугольном изгибе?
4. Как определяются теоретические значения прогибов поперечных сечений балки при косоугольном изгибе?
5. С помощью каких приборов определяются опытные значения прогибов?

РАБОТА 14 ОПЫТНАЯ ПРОВЕРКА ТЕОРЕМЫ О ВЗАИМНОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Цель работы: проверить опытным путем справедливость теоремы о взаимности перемещений.

Основные положения

Теорема о взаимности перемещений (теорема Максвелла) применима только к упругим системам (материал работает в пределах закона Гука) и заключается в следующем (рисунок 14.1).

Перемещение точки A (или прогиб сечения A) под действием силы P, приложенной в точке B, равно перемещению точки B (прогибу сечения B) под действием той же силы, но приложенной в точке A, то есть

$$\delta_{AB} = \delta_{BA} \quad (14.1)$$

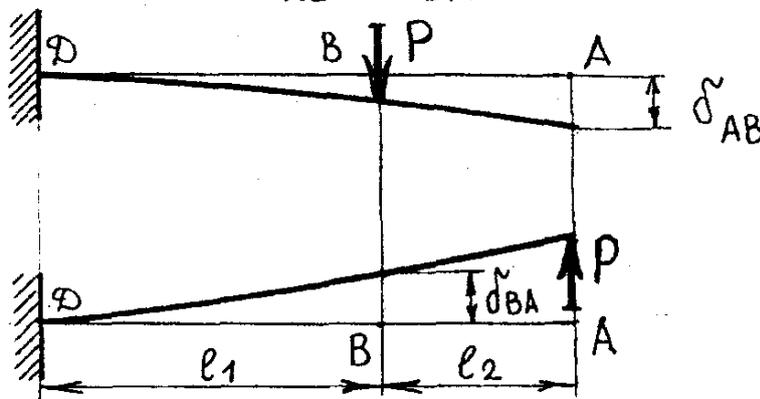


Рисунок 14.1

Работа выполняется на лабораторной установке (рисунок 14.2). Теорема о взаимности перемещений широко используется при расчете статически неопределимых систем методом сил. Пользуясь принципом взаимных перемещений, можно значительно упростить производство опытов по определению деформаций. Например, при построении изогнутой оси балки опытным путем.

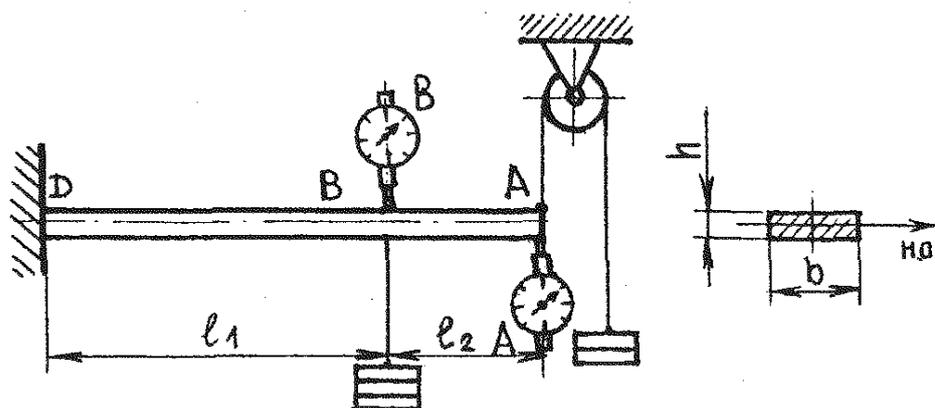


Рисунок 14.2

Порядок выполнения работы

1. Нагрузить балку в сечении В малой предварительной нагрузкой, например, $P = 5 \text{ Н}$.
2. Установить стрелку индикатора А (рисунок 14.2) на нуль.
3. Нагрузить балку дополнительной силой, например, $P = 10 \text{ Н}$ в сечении В.
4. Замерить показания индикатора А и определить

$$\delta_{AB} = K \cdot \Delta A, \quad (14.2)$$

где ΔA – показания индикатора А (число делений);
 K – цена деления индикатора часового типа.

5. Разгрузить балку полностью.
6. Нагрузить балку в сечении А предварительной нагрузкой.
7. Установить стрелку индикатора В на нуль.
8. Нагрузить балку в сечении А дополнительной нагрузкой.
9. Замерить показания индикатора В и определить

$$\delta_{BA} = K \Delta B, \quad (14.3)$$

где ΔB – показания (число делений) индикатора В;

K – цена деления индикатора.

10. Сопоставить перемещения δ_{AB} и δ_{BA} .

Контрольные вопросы

1. Что называется прогибом балки в данном сечении?
2. В чем заключается сущность теоремы о взаимности перемещений?
3. Какие измерительные приборы включает лабораторная установка?
4. Как определяется величина прогибов балки в сечениях А и В?

Отчет о работе

1. Наименование и цель работы.
2. Схема нагружения балки, иллюстрирующая сущность теоремы о взаимности перемещений.
3. Размеры поперечного сечения балки: $b =$, $h =$.
4. Цена деления прибора $K =$.
5. Результаты опыта .

Таблица 14.1 – Результаты опыта

Величина нагрузки P, H	Показания индикатора А (в делениях) ΔA	Показания индикатора В (в делениях) ΔB	Перемещение точки А под действием силы P , приложенной в точке В $\delta_{AB}, (мм)$	Перемещение точки В под действием силы P , приложенной в точке А $\delta_{BA}, (мм)$

6. Выводы.

Валерий Андрианович Бубнов
Нина Семеновна Емельянова
Валентин Константинович Коротовских
Сергей Григорьевич Костенко
Сергей Геннадьевич Тютрин

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторных работ
для студентов специальностей
120100, 120200, 030500, 120500, 150100,
150200, 150300, 230100, 240400
Часть 2

Редактор Н. М. Кокина

Подписано к печати 08.09.00		Бумага тип. N 1
формат 60x84 1/16	Усл. п. л. 2,75	Уч. изд. л. 2,75
Заказ 183	Тираж 250	Цена свободная

Издательство Курганского государственного университета
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25
Курганский государственный университет, ризограф