



Министерство образования
Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Машины и технология литейного производства»

ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Лабораторный практикум

Минск
БНТУ
2014

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Машины и технология литейного производства»

ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Лабораторный практикум
для студентов специальности 1-36 02 01
«Машины и технология литейного производства»*

Минск
БНТУ
2014

УДК 621.74:621.01:531.8(076.5)(075.8)

ББК 34.61я7

П75

Составители:

Д. М. Кукуй, В. Ф. Одиначко, Ю. А. Николайчик

Рецензенты:

проректор по учебной работе ГУО «Институт повышения квалификации и переподготовки руководителей и специалистов промышленности “Кадры индустрии”» канд. техн. наук, доцент *В. А. Стасюлевич*;
директор УП «Технолит», канд. техн. наук *С. Л. Ровин*

П75 **Прикладная** механика литейного производства : лабораторный практикум для студентов специальности 1-36 02 01 «Машины и технология литейного производства» / сост. : Д. М. Кукуй, В. Ф. Одиначко, Ю. А. Николайчик. – Минск : БНТУ, 2014. – 83 с.
ISBN 978-985-550-272-3.

Лабораторный практикум содержит методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине «Прикладная механика литейного производства». В практикуме представлена методика выполнения восьми виртуальных работ для студентов специальности 1-36 02 01 дневной и заочной форм обучения.

Программное обеспечение для виртуальных лабораторных работ разработано ООО «Профессиональная группа» Тюменского государственного нефтегазового университета в рамках проекта международного сотрудничества «ТЕМПУС».

УДК 621.74:621.01:531.8(076.5)(075.8)

ББК 34.61я7

ISBN 978-985-550-272-3

© Белорусский национальный
технический университет, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
----------------	---

Лабораторная работа № 1

ИСПЫТАНИЕ МАТЕРИАЛОВ НА УДАРНУЮ ВЯЗКОСТЬ	6
--	---

Лабораторная работа № 2

ИСПЫТАНИЯ НА РАСТЯЖЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ	13
---	----

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СЖАТИЕ	28
--	----

Лабораторная работа № 4

ИСПЫТАНИЯ НА УСТАЛОСТЬ ОБРАЗЦОВ С ТОРОИДАЛЬНОЙ РАБОЧЕЙ ЧАСТЬЮ В УСЛОВИИ ИЗГИБА С ВРАЩЕНИЕМ	35
--	----

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ПРИ КРУЧЕНИИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА РАЗРУШЕНИЯ ОБРАЗЦА	45
--	----

Лабораторная работа № 6

ПРОВЕРКА ПРАВИЛЬНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ РЕАКЦИИ СРЕДНЕЙ ОПОРЫ ДВУХПРОЛЕТНОЙ НЕРАЗРЕЗНОЙ БАЛКИ МЕТОДОМ СИЛ ...	55
---	----

Лабораторная работа № 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ И УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В ПРОИЗВОЛЬНЫХ СЕЧЕНИЯХ БАЛКИ	63
---	----

Лабораторная работа № 8

ОЗНАКОМЛЕНИЕ С МЕТОДОМ МЕХАНИЧЕСКОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ УПРУГОЙ СИСТЕМЫ С ОДНОЙ СТЕПЕНЬЮ СВОБОДЫ И ЯВЛЕНИЕМ РЕЗОНАНСА	73
---	----

ВВЕДЕНИЕ

Практикум предназначен для самостоятельной подготовки к лабораторным работам, является руководством для их выполнения дополнительно к электронным методическим материалам и предназначен для студентов выполняющих цикл виртуальных лабораторных работ по дисциплине «Прикладная механика литейного производства». При выполнении лабораторных работ используется клавиатура (рис. 1) и мышь (рис. 2) персонального компьютера.



Рис. 1. Активные клавиши клавиатуры



Рис. 2. Функции манипулятора

Клавиши клавиатуры W, S, A, D применяются для перемещения пользователя в пространстве.

Функциональная клавиша F2 и клавиша E – аналоги средней клавиши манипулятора (при первом нажатии берется объект, при последующем – ставится).

Клавиши Ctrl – присесть.

Z – визуальное приближение.

Функциональная клавиша F10 – выход из программы.

Левая кнопка мыши (ЛКМ) предназначена для управления объектами (в режиме манипуляции) (рис. 2). При нажатии и удерживании левой кнопки мыши обрабатывается (поворачивается, переключается) тот или иной объект.

Средняя кнопка мыши (СКМ) предназначена для взятия (применения) объекта (в режиме манипуляции) (рис. 2). При первом нажатии (прокрутка не используется) берется объект, при последующем – ставится (прикрепляется). Также данная клавиша позволяет проводить ускоренную работу с некоторыми объектами (например, ускоренное закручивание (откручивание) рукоятки тормозного устройства).

Правая кнопка мыши (ПКМ) предназначена для перехода в режим манипуляции (управление объектами) и возврат в режим навигации (перемещения по сцене) (рис. 2). При нажатии на правую кнопку появляется указатель мыши, а повторном нажатии – исчезает.

Примечание. При появившемся указателе мыши невозможно перевести взгляд вверх и стороны.

Лабораторная работа № 1

ИСПЫТАНИЕ МАТЕРИАЛОВ НА УДАРНУЮ ВЯЗКОСТЬ

Цель работы: определение основных механических характеристик металлов экспериментальным путем.

Задача: измерение ударной вязкости металла при испытании не менее четырех стандартных образцов на маятниковом копре.

1.1. Теоретическое обоснование испытания материалов на ударную вязкость

Для оценки свойств материала при динамических нагрузках недостаточно механических характеристик, определяемых при статических испытаниях. При больших скоростях нагружения, например, при ударе, увеличивается опасность хрупкого разрушения. Эта опасность особенно возрастает при наличии в детали концентраторов напряжений (различного рода надрезов, отверстий, галтелей, канавок и пр.), которые вызывают неравномерное распределение напряжений. Концентраторы позволяют сосредоточить всю деформацию, поглощающую удар, в одном месте и ставят материал в более тяжелые условия работы, т.к. значительно ослабляют сечение и вызывают повышение напряжений от изгиба.

Испытания на ударный изгиб регламентированы ГОСТом 9454–78, который предусматривает использование 20 типов образцов, различающихся как собственными размерами, так и размерами концентраторов при трех видах надрезов (рис. 1.1). Тип Т соответствует концентратору, содержащему усталостную трещину, которую получают в вершине начального надреза при циклическом изгибе образца в одной плоскости.

Образцы устанавливаются на двух опорах и подвергаются воздействию ударной нагрузки падающего маятника. Разрушение происходит в плоскости надреза, и поэтому форма надреза и его размеры влияют на склонность материала к хрупкому разрушению.

1.2. Работа удара

Работу удара обозначают буквами (KU , KV или KT) и цифрами. Первая буква (K) – обозначает символ работы удара; вторая буква

(U , V или T) – вид концентратора. Последующие цифры обозначают максимальную энергию удара маятника, глубину концентратора и ширину образца.

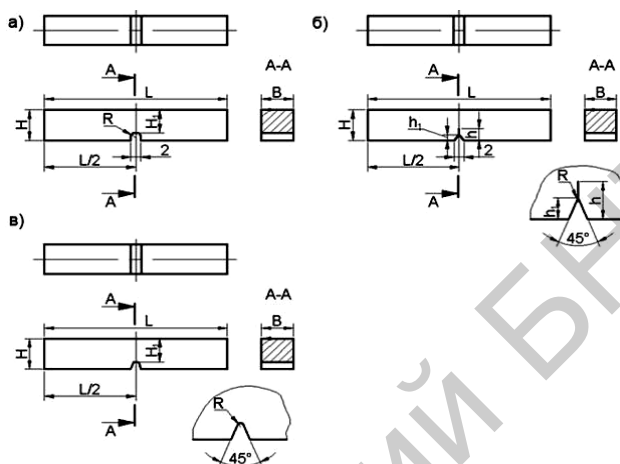


Рис. 1.1. Образцы с концентраторами:

a – концентратор вида U ; $б$ – концентратор вида T (усталостная трещина);
 $в$ – концентратор вида V

1.3. Ударная вязкость

Ударной вязкостью KC называется отношение работы K , необходимой для разрушения образца, к площади поперечного сечения A_0 в месте надреза. Вычисляется ударная вязкость по формуле (1.1).

$$KC = \frac{K}{A_0}, \quad (1.1)$$

$$A_0 = H_1 \cdot B,$$

где H_1 – начальная высота рабочей части образца, м (см);

B – начальная ширина образца, м (см).

H_1 и B измеряются с погрешностью не более 5 мм.

Значение KC записывается в протоколе с округлением до 1 Дж/см², при $KC > 10$ Дж/см² или до 0,1 Дж/см² при $KC < 10$ Дж/см².

Ударную вязкость обозначают сочетанием букв и цифр. Первые две буквы KC обозначают символ ударной вязкости, третья буква – вид концентратора; первая цифра – максимальная энергия удара маятника, вторая – глубина концентратора и третья – ширина образца. Например, КСТ+100 150/3/7,5 – ударная вязкость, определенная на образце с концентратором вида Т, при температуре плюс 100 °С, максимальная энергия удара маятника 150 Дж, глубина концентратора 3 мм, ширина образца 7,5 мм.

Если испытания проводятся при комнатной температуре ($t = 20 \pm 10$ °С), то температура в обозначениях не проставляется.

1.4. Размерность

Килограмм-сила (кгс, kgf) – единица измерения силы. Определяется как сила, действующая на тело массой в 1 кг под воздействием стандартного ускорения свободного падения. Килограмм-сила удобна тем, что вес получается численно равным массе.

1 кгс = 9,80665 Ньютонов (Н). $1 \text{ Н} \approx 0,10197162 \text{ кгс}$.

1.5. Оборудование

Маятниковый копер МК-ЗОО (рис. 1.2) состоит из чугунной станины в виде массивной плиты (2) с двумя вертикальными колоннами (3).

В верхней части колонн на горизонтальной оси подвешен укрепленный в шарикоподшипниках маятник с грузом в виде стального плоского диска с вырезом (5), в котором закреплен стальной закаленный нож, служащий бойком при испытании. Внизу на уровне вертикально висящего маятника к колоннам станины прикреплены две стальные закаленные опоры (10), на которые помещают испытываемый образец (11). Под опорами между колоннами проходит тормозной ремень (12), который, прижимаясь к маятнику, качающемуся после удара, вызывает его торможение. Тормозной ремень приводится в действие при помощи педали (1).

Перед испытанием маятник поднимают на исходную высоту и удерживают его в этом положении защелкой (6). В копре МК-ЗОО

Diagram illustrating the components of a mechanical testing machine (likely a universal testing machine) with numbered labels:

- 1: Base
- 2: Base plate
- 3: Vertical column
- 4: Horizontal crosshead
- 5: Horizontal beam
- 6: Horizontal beam
- 7: Horizontal beam
- 8: Horizontal beam
- 9: Circular dial
- 10: Testing mechanism
- 11: Testing mechanism
- 12: Testing mechanism
- 13: Testing mechanism
- 14: Testing mechanism

При испытании образца маятник освобождается от защелки (6), падая, ударяет образец, разрушает его и взлетает на некоторый угол, которым и определяется работа, затраченная на разрушение образца. В копке на оси маятника жестко закреплен поводок (9). При прямом и обратном движении маятника поводок увлекает за собой соответственно одну или другую стрелку шкалы (13) и оставляет их в положении, фиксирующем нож, служащий бойком при испытании (рис. 1.3). Внизу на уровне вертикально висящего маятника к колоннам станины прикреплены две стальные закаленные опоры (10), на которые помещают испытываемый образец (11). Под опорами между колоннами проходит тормозной ремень (12), который, прижимаясь к маятнику, качающемуся после удара, вызывает его торможение. Тормозной ремень приводится в действие педалью (1).

При записи значения максимальной энергии удара маятника в джоулях следует округлять соответственно до 5; 10; 50; 100; 150 и 300 Дж.

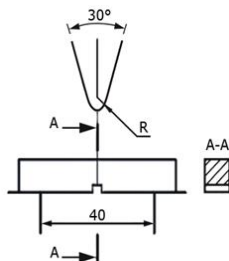


Рис 1.3. Опоры и нож маятника

Максимальная энергия удара маятника должна быть такой, чтобы значение работы удара составляло не менее 10 % от максимальной энергии удара применяемого маятника.

Скорость движения маятника в момент удара, погрешность градуировки шкал копра, требования к термостатам, обеспечивающим равномерное охлаждение или нагрев образца, термометры для измерения температуры контрольных образцов также регламентированы ГОСТом.

На рис. 1.4 представлен стол с испытываемыми образцами.



Рис. 1.4. Стол с образцами

1.6 Проведение испытания

Разрушение образцов осуществляется на маятниковом копре (см. рис. 1.2). Один из испытываемых образцов, размеры которого предварительно замеряют, устанавливают на опоры (10) копра надрезом в противоположную сторону от ножа маятника.

При каждом испытании стрелку шкалы (13) копра устанавливайте в положение шкалы 0 (другая стрелка будет автоматически соответствовать уровню подъема маятника с грузом).

Освобождение маятника копра производится с помощью рукоятки защелки (14). Маятник, пройдя нижнее положение и разрушив образец, поворачивает стрелку шкалы на угол, который соответствует энергии, сохранившейся в маятнике после разрушения образца.

Работа, затраченная на разрушение образца, будет равна разности энергии маятника до удара и после удара.

1.7. Отчет

Студент _____

Группа _____

Дата _____

Марка копра _____

Максимальная энергия удара маятника при испытании _____

Скорость маятника в момент удара _____

Испытуемый материал _____

Результаты испытаний на ударный изгиб заносятся в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Таблица для занесения данных отчета

№	Материал образца	Тип образца	Температура испытания, °С	Ширина образца B	Высота образца H	Глубина концентратора h	Высота рабочего сечения H_1	Площадь поперечного сечения S_0 , см ²	Работа удара K , Дж	Ударная вязкость K_C , Дж/см ²
				см						
	Ст. 3	U	20	1	1	0,2	0,8	0,8	200	250

1.8. Контрольные вопросы

1. Что такое работа удара?
2. Что такое ударная вязкость?
3. Роль надреза в образцах при испытаниях на ударный изгиб.

4. Какие виды надрезов в образцах предусматривает ГОСТ?
5. Дайте пример обозначения работы удара.
6. Как обозначается ударная вязкость?
7. Порядок проведения испытания.
8. Устройство и принцип действия маятникового копра.

Список литературы

1. Золоторевский, В. С. Механические испытания и свойства металлов / В. С. Золоторевский. – М.: Металлургия, 1974. – 303 с.
2. Тимошук, Л. Т. Механические испытания металлов / Л. Т. Тимошук. – М.: Металлургия, 1971. – 224 с.

Лабораторная работа № 2

ИСПЫТАНИЯ НА РАСТЯЖЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Цель работы: изучение методики проведения испытаний на растяжение и определения механических свойств.

Задачи: проведение испытаний на растяжение различных материалов и определить показатели прочности и пластичности.

2.1. Теория. Общие положения

Механическими называют свойства, которые материал проявляет при действии на него внешних, механических сил со стороны других тел. Действие силы вызывает деформацию твердого тела, и в нем возникают напряжения. Напряжение является удельной величиной и определяется как отношение силы, действующей на тело, к площади его сечения (рис. 2.1):

$$\sigma = \frac{P}{F}, \quad (2.1)$$

где σ – напряжение;

P – сила;

F – площадь поперечного сечения.

Напряжение в системе СИ выражается в Н/м² или МН/м², т.е. МПа. На практике может быть использована размерность кгс/мм², (1 кгс/мм² $\approx$ 9,81 МПа). В общем случае сила не перпендикулярна площадке, на которую она действует. Тогда ее, как и любой вектор, можно разложить на две составляющие: нормальную (перпендикулярную к площадке), создающую нормальное напряжение (рис. 2.2)

$$\sigma = \frac{P}{F} \cos \alpha \quad (2.2)$$

и касательную, действующую в плоскости площадки и вызывающую касательное напряжение (рис. 2.2)

$$\tau = \frac{P}{F} \sin \alpha. \quad (2.3)$$

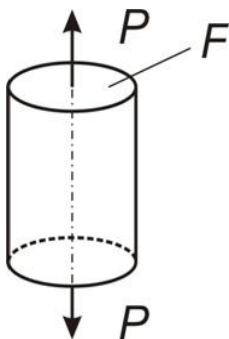


Рис. 2.1. Схема нормальных сил

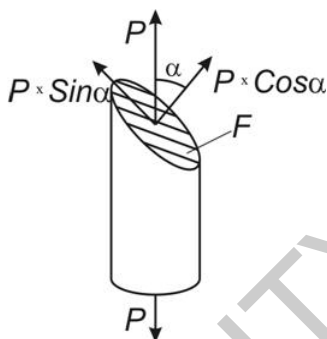


Рис. 2.2. Схема составляющих сил

В механических испытаниях определяют именно эти напряжения. Их же используют при определении усилий, необходимых для обработки металлов давлением и при расчетах деталей на прочность. Это связано с тем, что одни процессы при деформировании и разрушении определяются касательными напряжениями (пластическая деформация, разрушение путем среза), а другие – нормальными (разрушение отрывом).

Нормальные напряжения делят на растягивающие и сжимающие. Под действием механических сил твердое тело деформируется. Деформацией в механике называется процесс изменения взаимного расположения каких-либо точек твердого тела. Деформация может быть обратимой (упругой), исчезающей после снятия нагрузки, и необратимой – остающейся после снятия деформирующего усилия. Необратимую деформацию называют пластической или остаточной. При определенных условиях нагружения деформация может закончиться разрушением.

Процесс деформации под действием постепенно возрастающей нагрузки складывается из трех последовательно накладывающихся одна на другую стадий (рис. 2.3).

Даже незначительное усилие вызывает упругую деформацию, которая в чистом виде наблюдается только при нагрузках до точки А. Упругая деформация характеризуется прямо пропорциональной зависимостью от нагрузки и упругим изменениям межатомных расстояний. При нагрузках выше точки А в отдельных зернах металла, ориентированных наиболее благоприятно относительно направления деформации, начинается пластическая деформация.

Дальнейшее увеличение нагрузки вызывает и увеличение упругой, и пластической деформации (участок AB). При нагрузках точки B возрастание упругой деформации прекращается. Начинается процесс разрушения, который завершается в точке C .

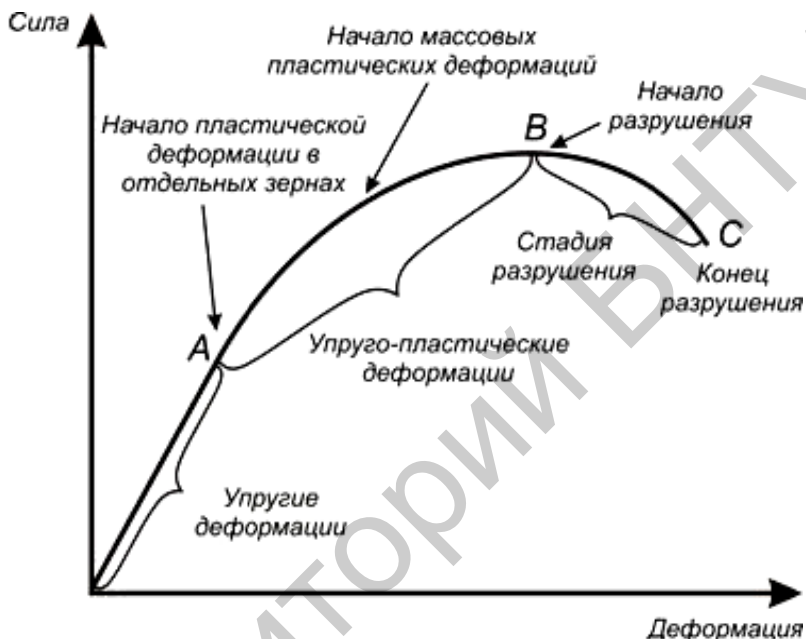


Рис. 2.3. Схема процесса деформации

Механические свойства материалов: прочность, твердость, пластичность, вязкость, упругость определяются при различных условиях нагружения и разных схемах приложения усилий. Широко распространено испытание материалов на растяжение, по результатам которого можно определить в частности показатели прочности и пластичности материала.

Прочность — это способность материала сопротивляться пластической деформации под действием внешних нагрузок.

Пластичность — это способность материала проявлять, не разрушаясь, остаточную деформацию.

Условия приведения испытаний и порядок определения показателей механических свойств регламентированы ГОСТ 1497–84.

2.2. Показатели прочности

Сопротивление малым пластическим деформациям характеризуют предел пропорциональности, предел упругости и предел текучести.

2.2.1. Предел пропорциональности

Предел пропорциональности – это напряжение, ниже которого соблюдается прямая пропорциональная зависимость между напряжением и относительной деформацией:

$$\sigma_{\text{ПЦ}} = \frac{P_{\text{ПЦ}}}{F_0}, \quad (2.4)$$

где $P_{\text{ПЦ}}$ – нагрузка при пределе пропорциональности;

F_0 – начальная площадь поперечного сечения шейки образца.

2.2.2. Предел упругости

Предел упругости $\sigma_{0,05}$ – это условное напряжение, при котором остаточная деформация составляет 0,05 % расчетной длины. Ввиду малости величины остаточной деформации на пределе упругости его иногда принимают равным пределу пропорциональности.

2.2.3. Предел текучести физический

Предел текучести физический – это наименьшее напряжение, при котором образец деформируется без увеличения растягивающей нагрузки:

$$\sigma_{\text{T}} = \frac{P_{\text{T}}}{F_0}, \quad (2.5)$$

Если на кривой деформации отсутствует четко выраженная площадка текучести (рис. 2.7, а), то определяют предел текучести условный.

2.2.4. Условный предел текучести

Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ – это напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,2 % длины участка образца на его рабочей части, удлинение которого принимается в расчет при определении указанной характеристики:

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}. \quad (2.6)$$

2.2.5. Сопротивление значительным пластическим деформациям

Сопротивление значительным пластическим деформациям (для пластичных материалов) характеризуется пределом прочности.

Предел прочности (временное сопротивление) σ_B – это условное напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке $P_{\max}$, предшествовавшей разрыву образца:

$$\sigma_B = \frac{P_B}{F_0}. \quad (2.7)$$

2.3. Показатели пластичности

2.3.1. Относительное удлинение после разрыва

Относительное удлинение после разрыва δ – это отношение приращения расчетной длины образца ($l_K - l_0$) после разрушения (рис. 2.4) к начальной расчетной длине l_0 , выраженное в процентах:

$$\delta = \frac{l_K - l_0}{l_0} \cdot 100 \%. \quad (2.8)$$

Для определения длины расчетной части l_K после разрыва части образца плотно прикладывают друг к другу (рис. 2.4) и измеряют расстояние между метками, которые ограничивали начальную расчетную длину.

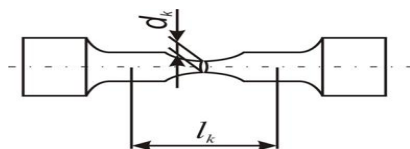


Рис. 2.4. Круглый образец после испытания на растяжение

2.3.2. Относительное сужение

Относительное сужение ψ – это отношение абсолютного уменьшения площади поперечного сечения в шейке образца ($F_0 - F_K$) к начальной площади сечения F_0 , выраженное в процентах:

$$\psi = \frac{F_0 - F_K}{F_0} \cdot 100 \%, \quad (2.9)$$

где F_0 и F_K – площади поперечного сечения образца до и после испытания соответственно.

2.4. Подготовка к испытанию

Для проведения испытаний рекомендуется применять круглые или плоские пропорциональные образцы (рис. 2.5), у которых начальная расчетная длина пропорциональна диаметру d_0 или корню квадратному из площади сечения образца F_0 . Предпочтительны соотношения $l_0 = 5d_0$ для круглых и $\psi = \frac{F_0 - F_K}{F_0} \cdot 100 \%$ для плоских образцов.

Испытания на растяжение арматурных сталей имеют некоторые особенности. В железобетонных конструкциях сталь используется в состоянии поставки с сохранением поверхности. Механические свойства центральной части и поверхностных слоев могут заметно отличаться. Это отличие может быть вызвано ликвацией «С» и «Р», нагартовкой поверхности, различием структур из-за разных условий охлаждения после прокатки и т.п.

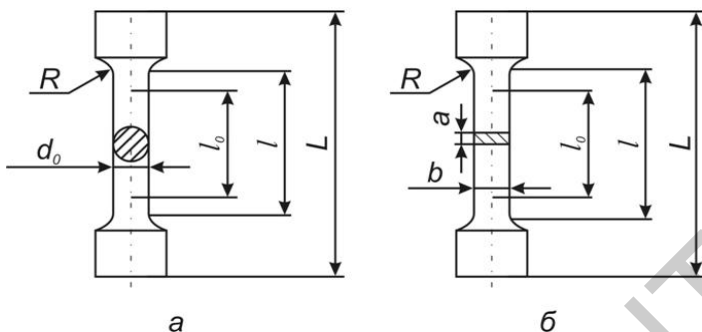


Рис. 2.5. Образцы для испытаний: *a* – круглый образец; *б* – плоский образец; L – общая длина; l – рабочая длина; l_0 – начальная расчетная длина; d_0 – диаметр образца до испытания; a – толщина; b – ширина; R – радиус скругления

В стержнях периодического профиля напряжения, возникающие под нагрузкой, по длине распределяются тоже не равномерно, поэтому арматурную круглую и периодического профиля сталь диаметром от 3 до 80 мм по ГОСТ 12004–81 необходимо испытывать с необработанной поверхностью. В этом случае условия испытания наиболее полно соответствуют условиям работы арматурных стержней в железобетонной конструкции.

При испытании стержней периодического профиля используется понятие «номинальный диаметр». Номинальный диаметр d_H для стержневой арматуры равен номинальному диаметру равновеликих по площади поперечного сечения круглых стержней (рис. 2.6).

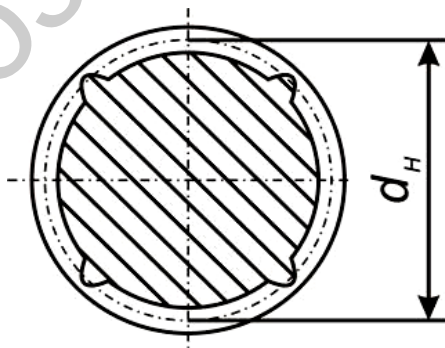


Рис. 2.6. Сечение арматурного стержня периодического профиля

Площадь сечения в этом случае вычисляется по формуле (2.10).

$$F_0 = \frac{m}{\rho \cdot l}, \quad (2.10)$$

где m – масса стержня, кг;

ρ – плотность, кг/м³ (для стали 7850 кг/м³);

l – длина стержня, м.

2.5. Диаграмма растяжения

Вид диаграммы растяжения зависит от природы материала и от его структурного состояния.

Рассмотрим стадии растяжения на примере малоуглеродистой стали (рис. 2.7, б).

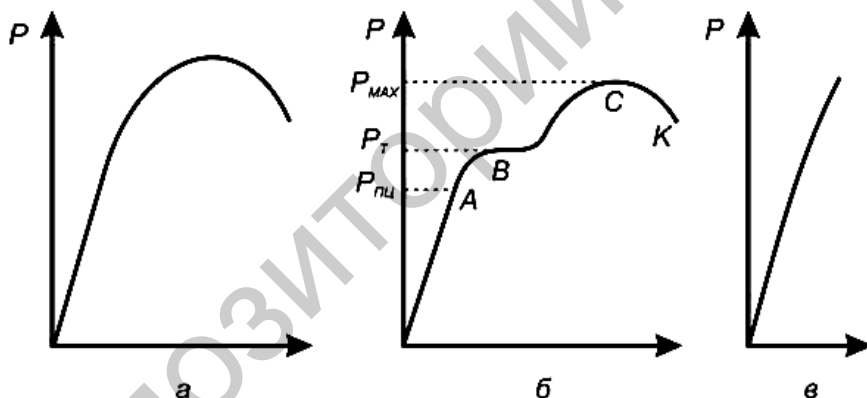


Рис. 2.7. Виды диаграмм растяжения различных материалов:

а – для большинства металлов в пластичном состоянии с постепенным переходом из упругой области в пластическую (медь, бронза, легированные стали);

б – для некоторых металлов в пластичном состоянии со скачкообразным переходом в пластическую область (малоуглеродистая сталь, некоторые отожженные бронзы);

в – для хрупких материалов (чугун, стекло, закаленная и неотпущенная сталь, силумин)

Вначале до точки *А* зависимость между нагрузкой и удлинением изображается прямой линией, т.е. наблюдается прямая пропорциональность между удлинением и нагрузкой. Интенсивность возрас-

тания нагрузки с ростом удлинения характеризует жесткость материала.

Ордината точки A соответствует нагрузке при пределе пропорциональности $P_{\text{пц}}$. До предела пропорциональности в образце возникают только упругие деформации. При дальнейшем растяжении образца начинается заметное отклонение линии от первоначального направления, приводящее в случае малоуглеродистой стали к появлению на диаграмме горизонтального или почти горизонтального участка. Это означает, что образец удлиняется без заметного возрастания растягивающей нагрузки. Материал как бы течет, поэтому нагрузка $P_{\text{т}}$, соответствующая горизонтальному участку (точка B) называется нагрузкой при пределе текучести.

В период течения в образце происходит пластическая деформация, возрастает количество дислокации и других дефектов. В результате этого металл упрочняется. Поэтому при дальнейшем растяжении нагрузка вновь начинает увеличиваться и достигает значения P_{max} , соответствующего ординате максимально удаленной точки C на кривой растяжения. При нагрузке P_{max} деформация образца локализуется, начинает образовываться шейка – местное уменьшение сечения. Нагрузку P_{max} называют нагрузкой на пределе прочности, или нагрузкой временного сопротивления. При нагрузке, соответствующей точке K , происходит разрыв образца.

Нагрузки $P_{\text{пц}}$, $P_{\text{т}}$, P_{max} и т.п. являются характеристиками данного образца. Свойства же материала характеризуют другими показателями.

2.6. Материалы и оборудование

Для проведения работы необходимы:

- испытательная машина;
- штангенциркуль;
- образцы различных металлических материалов.

Для проведения испытаний могут быть использованы специальные или универсальные испытательные машины (рис. 2.8).

Рассмотрим устройство испытательной машины на примере УММ-5 (рис. 2.9).

Машина УММ-5 имеет электромеханический привод (1) подвижного захвата (2), скорость перемещения которого может быть

установлена с помощью рычага коробки скоростей. С неподвижным захватом (3) связан рычажно-маятниковый силоизмеритель (4).

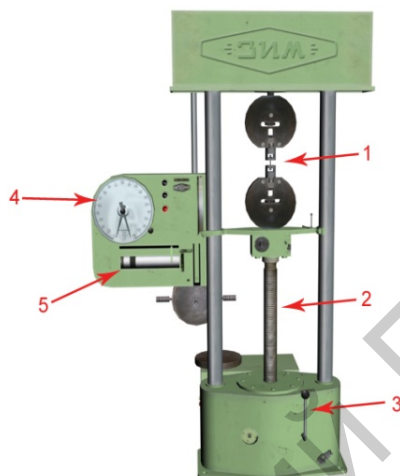


Рис. 2.8. Испытательная машина УММ-51:

1 – место установки образца (кулачки); 2 – вращающийся винт; 3 – рукоятка переключения передач (используется 3 передачи); 4 – диаграммный аппарат; 5 – место выхода динамограмм

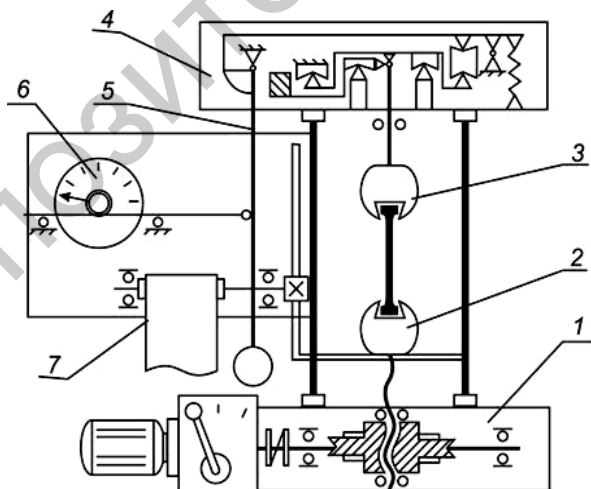


Рис. 2.9. Схема испытательной машины УММ-5

Возрастание усилия в верхнем неподвижном захвате (3) вызывает соответствующее отклонение маятника (5) для уравнивания этого усилия. Величина усилия показывается стрелкой на круговой шкале (6) диаграммного аппарата и записывается на диаграмме 7 в виде кривой деформации в системе координат «сила – деформация».

2.7. Порядок выполнения работы

Порядок работы следующий.

1. Возьмите образец со стола (рис. 2.10).
2. Установите образец между кулачками (рис. 2.11).

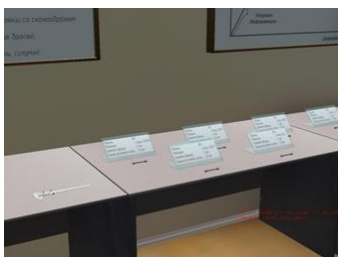


Рис. 2.10. Стол с образцами



Рис. 2.11. Зажатый между кулачками образец

3. Включите УММ-5 (красная кнопка внизу – включить, белая – выключить) (рис. 2.12).
4. Установите передачу (рис. 2.12).
5. Нажмите кнопку «ВНИЗ». Образец начнет растягиваться.

При растягивании стрелка 2 на шкале динамографа показывает данные, связанные с замером (рис. 2.14). Управление пассивной стрелкой 3 происходит от рукоятки посередине шкалы (вращая рукоятку, можно вращать стрелку).

Во время работы из диаграммного аппарата выдвигается лист с диаграммой (рис. 2.15).

6. Постепенно образец в середине становится тоньше и длиннее за счет растяжения. В конце испытания образец рвется.

7. Затем необходимо выключить УММ-5 (кнопка «СТОП»), либо машина выключится сама.



Рис. 2.12. Кнопки электромеханического привода и рычаг коробки скоростей



Рис. 2.13. Кнопки управления



Рис. 2.14. Шкала динамографа:
1 – рукоятка управления пассивной стрелкой;
2 – активная стрелка (связана с замером);
3 – пассивная стрелка

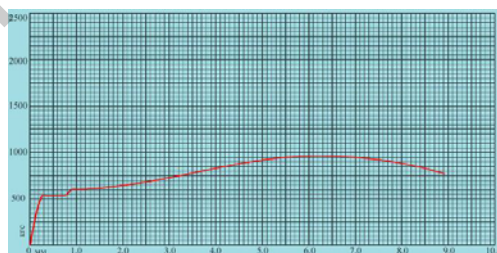


Рис. 2.15. Диаграмма разрыва образца Ст 3

9. Возьмите со стола штангенциркуль (рис. 2.16) и укажите на образец. Одной губкой штангенциркуль встанет к месту замера на образце, а вторую можно двигать, тем самым производя замер в месте обрыва.

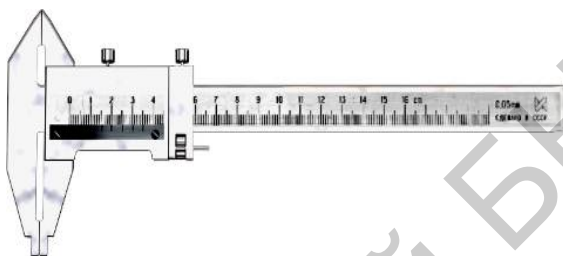


Рис. 2.16. Штангенциркуль

10. Снимите динамограмму с УММ-5 и положите ее на стол. После того, как динамограмма оказалась на столе, имеется возможность растянуть ее на весь экран (щелчок на динамограмму растягивает ее на весь экран, повторный щелчок убирает ее обратно на стол).

11. Сломанный образец нужно выбросить в урну.

12. Далее нижний кулачок поднимите (кнопка «ВВЕРХ») до положения, чтобы поместить новый образец (рис. 2.13).

13. Пассивную стрелку 3 динамографа установите в нулевое положение (рис. 2.14).

Можно проводить дальнейшие испытания.

2.8. Контрольные вопросы

1. Что называется пределом текучести и пределом прочности?

2. Какие механические свойства материала можно определить по диаграмме растяжения?

3. На какой испытательной машине выполняется работа?

4. Какой применяется образец?

5. Как проводится нулевая линия и оси координат на диаграмме растяжения?

6. Как определяют предел текучести, если на диаграмме растяжения имеется участок, параллельный оси удлинения?

7. По какой величине относительного остаточного удлинения определяют условный предел текучести?

8. Как определяют условный предел текучести по диаграмме растяжения?

9. На какую площадь сечения образца нужно делить максимальную нагрузку, которую выдержал образец до разрушения, при определении предела прочности?

10. Для какого участка диаграммы растяжения справедлив закон Гука?

11. Как изменяются свойства материала, если он подвергался предварительной вытяжке за предел текучести?

2.9. Отчет

1. Изучите основные теоретические положения и условия проведения испытаний на растяжение.

2. Испытайте на растяжение образцы различных материалов с записью диаграммы растяжения. Результаты занесите в протокол (табл. 2.1).

3. Обработайте результаты, определите механические свойства испытанных материалов и сравните их с табличными значениями.

Список литературы

1. Механические свойства конструкционных материалов (испытание на растяжение): методические указания / А. Е. Прожерин, Т. Д. Накорнеева, П. Ю. Денисов. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2002. – 12 с.

2. Беляев, Н. М. Лабораторные работы по сопротивлению материалов: учебное пособие для вузов / Н. М. Беляев. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1954. – 278 с.

Таблица 2.1

Протокол испытаний на растяжение

Показатели		Образец		
		№ 1	№ 2	№ 3
Материал образца				
Диаметр образца	до испытания d_0 после испытания d_K			мм
Площадь поперечного сечения	до испытания F_0			мм
	после испытания F_K			мм
Длина расчетной части	до испытания l_0			мм
	после испытания l_K			мм
Нагрузки, соответствующие	пределу текучести: физическому R_T			Н
	условному $R_{0,2}$			Н
	пределу прочности R_{max}			Н
Предел текучести	физический σ_T			МПа
	условный $\sigma_{0,2}$			МПа
Предел прочности σ_B				МПа
Относительное удлинение δ				%
Относительное сужение ψ				%

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СЖАТИЕ

Цель работы: определение экспериментальным путем основных механических характеристик различных материалов.

Задачи: определение ударной вязкости материала при сжатии; определение предела прочности.

3.1. Теоретическое обоснование испытания материалов на сжатие

Образцы материалов до и после сжатия представлены на рис. 3.1–3.4.

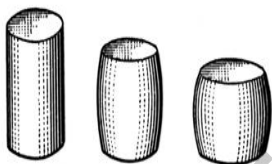


Рис. 3.1. Деформация стального образца при сжатии

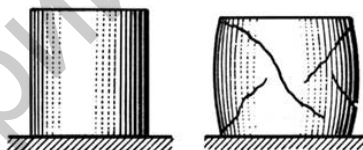


Рис. 3.2. Деформация чугунного образца при сжатии

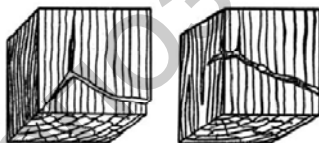


Рис. 3.3. Деревянные образцы, разрушенные при сжатии волокон

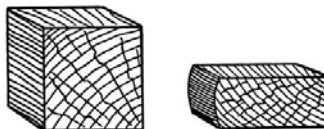


Рис. 3.4. Деревянный образец до и после сжатия поперек волокон

При испытании на сжатие пластических материалов (мягкой стали, меди и др.) образцы из-за сильной деформации (сплющивания), удастся определить лишь предел текучести; практически они не могут быть разрушены, поэтому для пластических материалов не существует предела прочности при сжатии.

Хрупкие материалы (чугун, камень, бетон и др.) разрушаются при сжатии, выдерживая при этом значительно большее напряжение, чем при растяжении. Для этих материалов предел прочности при испытании на сжатие имеет большое практическое значение, т.к. обычно детали из хрупких материалов в реальных конструкциях работают на сжатие.

Испытание деревянных образцов представляют собой интерес вследствие того, что прочность дерева, имеющего волокнистую структуру, неодинакова вдоль и поперек волокон (анизотропный материал).

Для испытаний применяют деревянные кубики. Прочность дерева на сжатие вдоль волокон обычно в 8–10 раз больше, чем поперек волокон.

3.2. Оборудование

Гидравлический пресс ПСУ-10 предназначен для испытания стандартных образцов строительных материалов на сжатие, а также поперечного изгиба кирпича согласно ГОСТ 530-54 на ПСУ-10.

Таблица 3.1

Техническая характеристика ПСУ-10

Параметры	Показатели
Точность измерений, %	±2
Предельная нагрузка, тонны	10
Скорость движения поршня рабочего цилиндра, мм/мин	20
Наибольший допустимый подъем поршня, мм	50
Мощность электродвигателя, кВт	1
Габаритные размеры, мм	362×200×970
Масса, кг	342

По конструкции силовозбуждающего устройства пресс относится к типу гидравлических и включает в себя три отдельных агрегата: собственно пресс (рис. 3.5), пульт управления (рис. 3.6), силоизмеритель СИ-2, панель управления которого показана на рис. 3.7.

Собственно пресс представляет собой неподвижную раму, состоящую из станины (5) и поперечины (1), соединенных между собой двумя колоннами (3). В центральном гнезде поперечины смон-

тирована винтовая пара, на которую закреплена плита опорная верхняя (2). В центральной части станины расположен рабочий цилиндр пресса, в котором помещается плунжер. К плунжеру прикреплена плита нижняя (4). Под действием давления масла в цилиндре плунжер перемещается вверх. Максимальное передвижение его вверх должно быть в пределах 50 мм. Подвижные части машины опускаются вниз под действием собственного веса.

На пульте управления прессом расположены следующие элементы:

(1) – переключатель режимов работы пресса, где «0» – нерабочее состояние, «СБРОС» – состояние сброса нагрузки пресса и возврата нижней плиты в нижнее положение, «НАГРУЖЕНИЕ» – состояние нагрузки пресса (нижняя плита перемещается вверх).

(2) – лампочка индикации сети.

(3) – кнопка включения насоса, подающего жидкость в гидроцилиндр пресса.

(4) – кнопка выключения насоса.

(5) – переключатель скорости нагружения пресса.

(6) – динамограф.

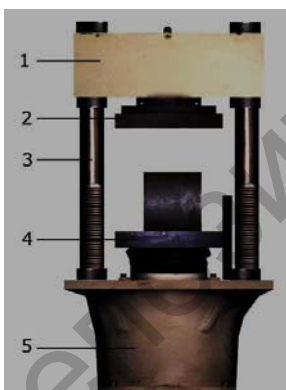


Рис. 3.5 Общий вид
Гидравлического
пресса ПСУ-10

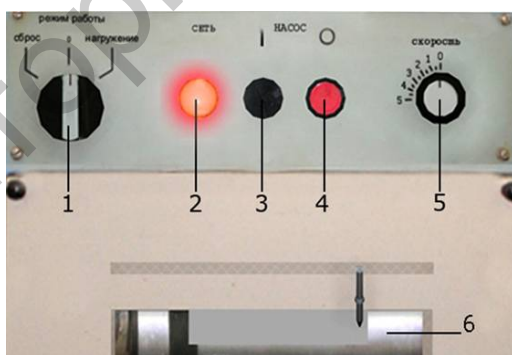


Рис. 3.6 Панель управления прессом

Силоизмеритель предназначен для отображения нагрузки и скорости нагружения пресса. На пульте силоизмерителя СИ-2 (рис. 3.7) расположены следующие элементы:

(1) – кнопка включения прибора (вкл/выкл);

(2) – кнопки включения уровня защиты напряжения. Включение уровня защиты напряжения обеспечивает автоматическое выключение пресса, при достижении напряжения выше указанного;

(3) – кнопка режимов отображения напряжения. При включении режима I загорится индикатор «ПУСК» и числовое табло (6) будет отображать напряжение пресса в реальном времени. При включении режима II загорится индикатор «МАКС» и числовое табло (6) будет отображать последнее максимальное напряжение пресса;

(4) – ручка ручной настройки СИ-2;

(5) – кнопки включения уровней защиты скорости нагружения.

Включение уровня защиты скорости нагружения обеспечивает автоматическое выключение пресса, при скорости нагружения выше указанной.



Рис. 3.7. Пульт силоизмерителя СИ-2

3.3. Порядок выполнения работы

Последовательность действий следующая.

1. Возьмите образец со стола (рис. 3.8).



Рис. 3.8. Стол с образцами

2. Установите образец между плитами.

3. При помощи тумблера (рис. 3.9) включите пресс в сеть. Загорится лампочка «СЕТЬ» на пульте управления прессом.



Рис. 3.9. Тумблер включения сети

4. Установите режим работы на пульте управления «НАГРУЖЕНИЕ», что будет соответствовать ходу пресса вверх. Режим «0» – работа вхолостую и передвижения пресса не будет. Режим «СБРОС» используется при разгрузке образца (обратный ход плиты пресса).

5. Включите прибор СИ-2 (рис. 3.5 (1)).

6. На СИ-2 с помощью кнопок 2 выставите уровень защиты (рис. 3.7). Уровень защиты выставляется в кН. Если уровень защиты ниже усилия пресса, то пресс автоматически выключается. Если такое произошло, то для включения пресса нажать на кнопку «НАСОС» (рис. 3.6).

7. На СИ-2 выставите скорость нагружения – разницу между нагрузкой в данный момент и предыдущей. Если скорость нагружения больше установленной, то пресс автоматически выключается.

8. При включении СИ-2 горит лампочка «ПУСК», что соответствует отображению данных в реальном времени. При нажатии на кнопку 3 (рис. 3.7) произойдет переключение режимов отображения – загорится лампочка «МАКС» и на панели (6) будет отображаться последнее максимальное значение напряжения. При повторном нажатии на кнопку 3 (рис 3.7) режим вернется в «ПУСК» (режим реального времени).

9. Установите скорость нагружения прессом (от 0 до 5 передач). Нажмите кнопку «НАСОС». Нижняя плита пресса начнет подниматься. Доведя образец до верхней плиты, пресс начнет раздавливать образец. Из отверстия динамографа начнет выходить динамограмма и на шкалах СИ-2 появляются данные испытания (рис. 3.10).

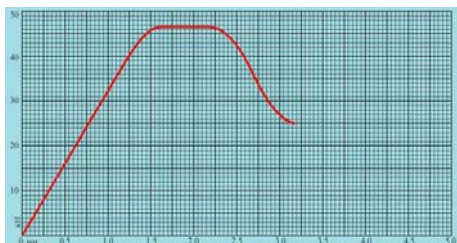


Рис. 3.10. Пример диаграммы

10. По завершению опыта пресс автоматически выключится, СИ-2 продолжает работать.

11. Установите режим работы на «СБРОС». Дождитесь, пока нижняя плита придет в исходное положение, извлеките образец и положите на стол.

12. Снимите диаграмму и положите ее на стол. После того как динамограмма оказалась на столе, имеется возможность осмотреть ее (щелчок на диаграмму поднимает ее перпендикулярно перед пользователем, повторный щелчок убирает ее обратно на стол).

13. Возьмите новый образец и проводите испытания.

14. Вычислите предел прочности дерева вдоль волокон

$$\sigma_{BC} = \frac{F_{BC}}{A_0}, \quad (3.1)$$

где F_{BC} – наибольшая нагрузка, предшествующая разрушению образца;

A_0 – площадь поперечного сечения образца до начала испытания.

3.4. Отчет

Отчет по выполненной работе должен содержать:

1. Цель и задачи работы.
2. Приборы, оборудование и обеспечение.
3. Индивидуальное задание на работу (материал образца, его эскиз и размеры).
4. Значения максимальных напряжений.
5. Графики: усилий и напряжений.

6. Вычисление основных механических характеристик.
7. Выводы (составляются соответственно цели).

3.5. Контрольные вопросы

1. Какие механические характеристики можно определить при испытании пластичных материалов на сжатие?
2. Какие механические характеристики можно определить при испытании хрупких материалов на сжатие?
3. Для каких материалов испытание на сжатие имеет большое практическое значение?
4. Чем объясняется разрушение чугуновых образцов по плоскости, проходящей под углом 45° к оси образца?
5. В каком направлении дерево прочнее при сжатии?
6. Можно ли довести до разрушения деревянный образец нагрузкой, направленной поперек волокон?

Список литературы

1. Беляев, Н. М. Лабораторные работы по сопротивлению материалов: учебное пособие для вузов / Н. М. Беляев. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1954. – 278 с.
2. Рубашкин, А. Г. Лабораторные работы по сопротивлению материалов: учебное пособие / А. Г. Рубашкин. – М.: Высшая школа, 1971. – 240 с.

Лабораторная работа № 4

ИСПЫТАНИЯ НА УСТАЛОСТЬ ОБРАЗЦОВ С ТОРОИДАЛЬНОЙ РАБОЧЕЙ ЧАСТЬЮ В УСЛОВИИ ИЗГИБА С ВРАЩЕНИЕМ

Цель работы: изучение методики испытаний на усталость образцов с тороидальной рабочей частью в условии изгиба с вращением.

Задачи:

- проведение усталостных испытаний образцов с тороидальной рабочей частью в условиях изгиба с вращением;
- определение предела выносливости образцов заданного материала;
- анализ влияния на предел выносливости материала образцов, его твердости, шероховатости рабочей части;
- проведение регрессионного анализа данных испытаний, определение статистических характеристик предела выносливости и построение доверительных границ кривой усталости.

4.1. Теоретическое обоснование усталостных испытаний образцов с тороидальной рабочей частью в условиях изгиба с вращением

Разрушение материала при периодически изменяющихся напряжениях резко отличается от разрушения материала при действии статических нагрузок (даже пластичные материалы разрушаются внезапно, без заметной пластической деформации). Разрушение происходит не только при напряжениях, меньших предела прочности, но иногда даже при напряжениях, меньших предела текучести. Усталостный излом характеризуется наличием двух зон: наружной – гладкой притертой, и внутренней – крупнозернистой, по которой произошел мгновенный излом после ослабления рабочего сечения усталостными трещинами.

Способность материала сопротивляться разрушению при переменных напряжениях характеризуется пределом выносливости, который для образцов из данного материала зависит от вида деформации (растяжение, сжатие, кручение, изгиб) и от характера изменения напряжений во времени.

Значительное влияние на величину предела выносливости образца оказывают концентрация напряжений в местах резкого изменения сечений (галтели, отверстия, выточки и т. д.), состояние поверхности (грубая обработка, надрезы, царапины и т. д.) и диаметр испытуемых образцов. Испытание на выносливость обычно проводят при изгибе вращающегося образца.

Для определения предела выносливости металла испытывают не менее 10 образцов. На рис. 4.1 дана схема нагружения образца и эпюры изгибающего момента для машины МУИ-6000.

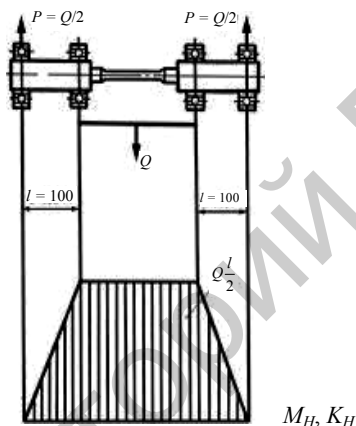


Рис. 4.1. Схема нагружения образца и эпюры изгибающего момента для машины МУИ-6000

Постоянная нагрузка Q вызывает переменные напряжения во вращающемся образце. Изменения напряжений в связи с вращением образца происходят по симметричному циклу, максимальное напряжение которого определяют по формуле (4.1).

$$\sigma_{\text{вых}} = -\sigma_{\text{min}} = \frac{M_H}{W_x} = \frac{Pl}{\frac{\pi d^3}{32}}, \quad (4.1)$$

где $\sigma_{\text{вых}}$ – максимальное растягивающее напряжение;

σ_{min} – минимальное сжимающее напряжение;

M_H – изгибающий момент в опасном сечении образца;

P – силы, действующие на образец;

l – расстояние от точки приложения силы до ближайшей опоры;

d – диаметр образца.

Нагрузку Q находят по формуле (4.2).

$$Q = 2P = \frac{\sigma_{\text{вых}} \pi d^3}{16l}. \quad (4.2)$$

Напряжение $\sigma_{\text{вых}}$, при котором испытывают образцы, рекомендуется выбирать для первого образца $0,6 \sigma_{\text{НЧ}}$ (для сталей) и $0,4\sigma_{-1}$ (для легких сплавов), где $\sigma_{\text{НЧ}}$ – предел прочности при растяжении; для последующих образцов напряжение уменьшают на 2 или 4 кг/мм² (20 или 40 Н/мм²).

Для разрушившихся образцов отмечают число циклов по счетчику оборотов.

При снижении напряжения образцы выдерживают все большее число циклов. Испытание заканчивают, если образец выдерживает определенное число циклов – базу испытаний. Стальные образцы испытывают на базе 10 миллионов циклов, образцы из легких сплавов на базе 20–50 миллионов.

Предел выносливости при симметричном цикле изменения напряжений есть наибольшее напряжение цикла, при котором образец выдерживает без разрушения заданное число циклов, принимаемое за базу. Результаты испытания образцов наносят на диаграмму в прямоугольных координатах, где по оси ординат откладывают напряжение, а по оси абсцисс – число циклов.

На рис. 4.2 представлена такая диаграмма (кривая Велера), построенная по точкам, соответствующим разрушенным образцам.

4.2. Оборудование и инструменты

Для испытания вращающихся цилиндрических образцов при чистом изгибе с максимальным изгибающим моментом 500 кг·см (49 Н·м) предназначена машина МУИ-6000.

Из кинематической схемы машины (рис 4.3) видно, что она состоит из механизма нагружения и четырех шпиндельных валиков с приводом и счетчиком оборотов.

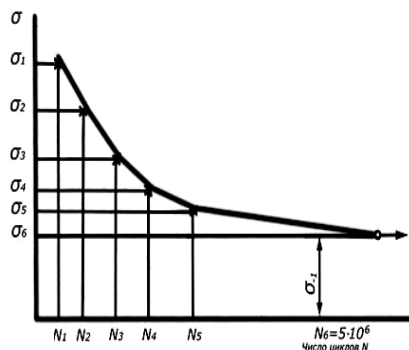


Рис. 4.2. Диаграмма испытания на выносливость (кривая Велера)

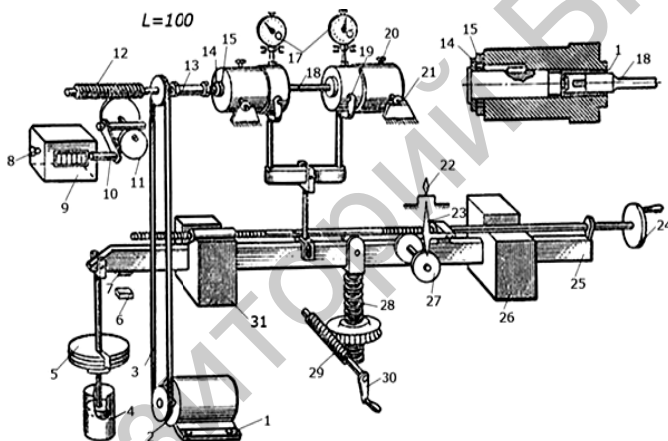


Рис. 4.3 Кинематическая схема МУИ-6000

Все части машины установлены на массивной станине.

Шпиндельные валики служат для закрепления испытуемого образца (18) и передачи на него нагрузки. Образец крепят при помощи конусных цанг (16). При закреплении головок образца в шпинделях одним ключом поддерживается втулка (15), а другим заворачивается зажим (14). Правый шпиндельный валик может свободно перемещаться вдоль направляющей станины по каткам (21) (в зависимости от длины испытуемого образца). Опора левого шпиндельного валика позволяет ему свободно поворачиваться. Привод состоит из электродвигателя (2), установленного на шарнирной плите (1).

Электродвигатель при помощи магнитного пускателя и кнопочной станции подключается к сети трехфазного переменного тока. Угловая скорость вала электродвигателя 2860 об./мин. Левый шпиндельный валик получает вращение от электродвигателя через гибкий валик (13) и клиноременную передачу (3). Передаточное число клиноременной передачи 2,125; таким образом, испытуемый образец вращается со скоростью 6000 об./мин, что соответствует такому же количеству циклов перемен напряжения.

Число циклов фиксируется шестизрядным счетчиком оборотов (9), который закреплен на корпусе червячного редуктора (12).

Передаточное число редуктора $i = 100$. Передача импульсов на счетчик осуществляется кулачком (11), закрепленным на оси червячного колеса, и рычажком (10), установленным на оси счетчика.

Счетчик может фиксировать 100 миллионов циклов изменения напряжений. Для сбрасывания показаний счетчика перед началом испытаний служит ручка (8).

Для контроля за биением образца на станине машины устанавливают два индикатора (17) с ценой деления 0,01 мм. Биение образца не должно превышать 0,03 мм. Эту проверку производят провертыванием образца вручную. Для уменьшения биения его освобождают зажимом (14), слегка поворачивают и снова зажимают. При работе машины индикаторы должны быть отведены от шпиндельных валиков.

Механизм нагружения состоит из рычага (25), шарнирно связанного с серьгами (19), передающими нагрузку на образец. Неподвижной опорой грузового рычага является винт (28), который до начала испытаний поддерживает рычаг (25) в приподнятом состоянии, освобождая шпиндельные валики от нагрузки.

Рычаг (25) нагружается двумя способами:

- установкой сменных грузов (5) на левый конец рычага. Набор этих грузов состоит из пяти гирь: трех с условным весом (соответствующим силам, прикладываемым к образцу) по 20 кГ (196,2 Н) и двух – по 10 кГ (98,1 Н) (рис. 4.4);
- перемещением груза (31) маховичком (24), расположенным на правом торце машины, осуществляется дополнительная нагрузка рычага (25). Величину этой нагрузки определяют по шкале нагрузок (27), которая вращается относительно неподвижного указателя (23) червячной парой. Перемещением груза (31) можно создавать на-

грузку образца от 10 до 20 кГ (98,1–196,2 Н). Цена деления 0,1 кГ (0,98 Н). Противовес (26) служит для балансировки системы нагружения.



Рис. 4.4. Комплект грузов для испытаний

Приложение испытательной нагрузки производится при помощи маховичка (30), расположенного на фасаде машины. Вращением маховичка против часовой стрелки червячная пара (29) производит опускание винта (28), в результате чего нагрузка через рычаг (25) и серьги (19) передается на шпиндельные валики.

Совпадение указателя (23) с риской (22) на табличке корпуса машины свидетельствует о том, что образец нагружен.

При разрушении образца грузовой рычаг опускается на амортизатор, а упор (7), касаясь микровыключателя (6), выключает электродвигатель машины.

Масляный успокоитель (4) служит для поглощения вибраций грузового рычага при работе машины. Заливку масла в шпиндельные валики производят через отверстие (20).

4.3. Форма и размеры образцов

На рис. 4.5 показаны стандартные форма и размеры образцов для испытания на машинах МУИ-6000 по ГОСТ 2860–45.

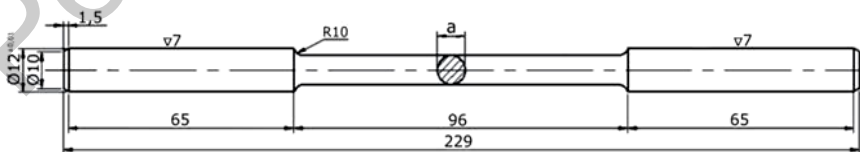


Рис. 4.5. Образец для испытания на усталость при чистом изгибе

Величина предела выносливости материала зависит от размера образцов (масштабный фактор), чистоты обработки поверхности и концентрации напряжений, поэтому при испытании на выносливость к образцам предъявляют жесткие требования в отношении их формы, размеров и чистоты обработки поверхности.

4.4. Порядок проведения работы

1. Выберите образец. Выбор производится на панели выбора образца (рис. 4.6) автомате выбора образца (рис. 4.7).



Рис. 4.6 Аппарат выбора образца



Рис. 4.7. Панель выбора образца

Пользователь может выбирать:

- материал нажатием на соответствующую кнопку (например, сталь 45);

- твердость материала HB, HBS;
- геометрию образца r , d , D , Rz .

2. Далее нажмите «принять» (образец вываливается из приемного окошка), либо «отклонить» и повторите выбор образца. Параметры отобранного образца записывайте для отчета и повторного опыта.

3. Установите образец в кулачки МУИ-6000. Образец не встанет, пока подпорка груза не установлена (поднята вращением штурвала подпорки). Возьмите образец в руки. Примените к любому кулачку МУИ-6000, образец встанет в кулачки и кулачки закрутятся.

4. Возьмите нужный груз в руки и примените его к грузодерживающему штырю. На грузе выбита соответствующая маркировка. Суммарно масса установленного груза не должна превышать 15 кг.

4. На приборной панели выставите обороты вращения (6000 об./мин). Двигатель начнет вращать образец.

5. Уберите подпорку груза вращением штурвала подпорки.

6. На приборной панели (рис. 4.8) таймером установите масштаб времени (1000).



Рис. 4.8. Приборная панель

7. По достижении числа N образец ломается. МУИ-6000 выключается автоматически.

8. Если количество циклов больше 10 миллионов, но МУИ продолжает работать, а в верхней правой части экрана появляется надпись желтого цвета (шрифт без засечек): «Количество циклов превысило 10 миллионов. Необходимо прекратить испытания». МУИ необходимо выключить и изъять образец.

9. Запишите в отчет количество циклов, пройденное образцом до разрушения, массу груза при испытании и параметры образца.

10. Сломавшийся образец необходимо выбросить в урну.

11. Нажмите кнопку «СБРОС», чтобы сбросить число циклов.

12. Повторите опыт 10 раз, согласно ГОСТ (преподаватель может дать другое число количества опытов).

13. Запишите результаты испытаний в табл. 4.1 для отчета.

Таблица 4.1

Форма записи результатов испытаний

№ образца	$\sigma_{\min}$	Время	Число циклов до разрушения

4.5. Отчет

Отчет о проделанной работе должен содержать:

1. Цели и задачи работы.
2. Схему нагружения образца, эпюру изгибающих моментов, эскиз образца с указанием размеров и материала.
3. Таблицу с результатами испытаний.

4.6. Контрольные вопросы

1. Какое практическое значение имеет испытание материала при переменных напряжениях?
2. Укажите основные факторы, влияющие на прочность материалов при переменных напряжениях.
3. Может ли произойти разрушение детали, если она работает при переменных напряжениях, меньших предела текучести?
4. Можно ли по характеру излома образца установить, при каких (постоянных или переменных) напряжениях испытывался образец?
5. Что называется пределом выносливости?
6. Влияет ли на величину предела выносливости диаметр испытываемого образца?
7. Как строится диаграмма для определения предела выносливости?
8. Какие требования предъявляют к образцам при испытании на усталость?
9. На каких испытательных машинах можно производить определение предела выносливости?
10. Могут ли постоянные нагрузки вызывать переменные напряжения в образце?

11. Какой вид изгиба возникает в образцах, испытываемых на машине МУИ-6000? Изобразите эпюры изгибающих моментов для этих образцов.

12. Во сколько раз увеличится напряжение в образце, если нагрузку увеличить вдвое?

Список литературы

1. Александров, А. В. Сопротивление материалов: учебник для вузов / А. В. Александров, В. Д. Потапов, Б. П. Державин. – М.: Высшая школа, 1995. – 560 с.

2. Рубашкин, А. Г. Лабораторные работы по сопротивлению материалов: учебное пособие / А. Г. Рубашкин. – 3-е изд. – М.: Высшая школа, 1971. – 240 с.

3. Феодосьев, В. И. Сопротивление материалов / В. И. Феодосьев. – М.: Наука, 1986. – 512 с.

4. Школьник, Л. М. Методика усталостных испытаний: справочник / Л. М. Школьник. – М.: Металлургия, 1978. – 304 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ПРИ КРУЧЕНИИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА РАЗРУШЕНИЯ ОБРАЗЦА

Цель работы: определение предела прочности при кручении и исследовании характера разрушения образца.

Задачи:

- вычисление условного предела прочности при кручении;
- построение диаграммы кручения образцов;
- определение причины разрушения образца по характеру поломки (имел ли место при разрушении сдвиг или отрыв материала) т.е. выявление опасных напряжений для данного материала.

5.1. Теория

При кручении бруса круглого поперечного сечения в плоскостях, перпендикулярных к его продольной оси, и в плоскостях совпадающей с этой осью, возникают только касательные напряжения, в плоскостях, расположенных под углом 45° к оси бруса – только нормальные напряжения (главные). Напряженное состояние во всех точках – чистый сдвиг. Нормальные и касательные напряжения по величине равны между собой, поэтому разрушение образца при кручении может произойти от сдвига или отрыва. Так как сопротивление сдвигу или отрыву у различных материалов неодинаково, разрушение образцов при испытании на кручение будет происходить различно (рис. 5.1). Диаграмма зависимости угла закручивания j от крутящего момента M_k наглядно отражает процесс деформации образца при кручении (рис. 5.2). Сначала деформация (угол закручивания) увеличивается пропорционально нагрузке (крутящему моменту) и на диаграмме – прямая (закон Гука) (рис. 5.2, а); затем деформация растет значительно быстрее нагрузки, и на диаграмме появляется криволинейный участок. Диаграмма обрывается при наибольшем значении крутящего момента, соответствующего разрушению образца.

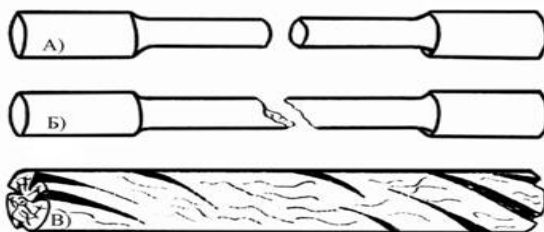


Рис. 5.1. Характер разрушения образцов при кручении:
а – разрушение стального образца, вызванное сдвигом по поперечному сечению образца; *б* – разрушение чугунного образца от отрыва по винтовой поверхности с углом наклона 45° к оси образца; *в* – разрушение деревянного образца, вызванное сдвигом в продольном осевом сечении

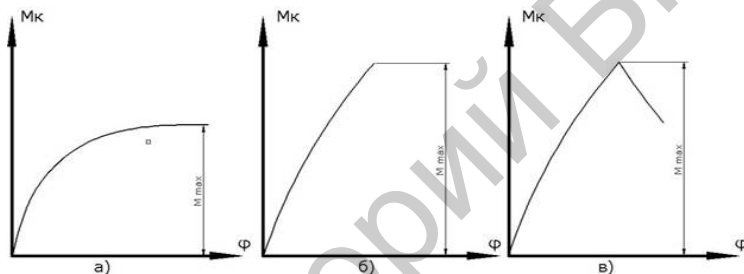


Рис. 5.2. Диаграмма кручения образцов:
а – стального; *б* – чугунного; *в* – деревянного

Разрушение чугунного образца происходит внезапно по наклонному сечению. Зернистый характер излома является средством разрушения от отрыва. На диаграмме кручения чугунного образца (рис. 5.2, *б*) видно, что чугун не совсем строго подчиняется закону Гука (кривая имеет несколько выпуклый характер) и не получает при разрушении от кручения значительных остаточных деформаций.

На диаграмме кручения деревянного образца (рис. 5.2, *в*) вначале момент возрастает пропорционально углу закручивания, затем после достижения максимальной величины начинает заметно уменьшаться вследствие образования в образце продольной трещины.

5.2. Установка и оборудование

Испытание на кручение проводят на машине КМ-50-1.

Испытательная машина КМ-50-1 предназначена для испытания образцов из металлов на кручение с наибольшим крутящим моментом 50 кгс·м в соответствии с методами указанными в ГОСТе 3565–58.

Разрешается также проводить также на машине испытания образцов из других материалов. На рис. 5.3 представлен общий вид испытательной машины КМ-50-1.

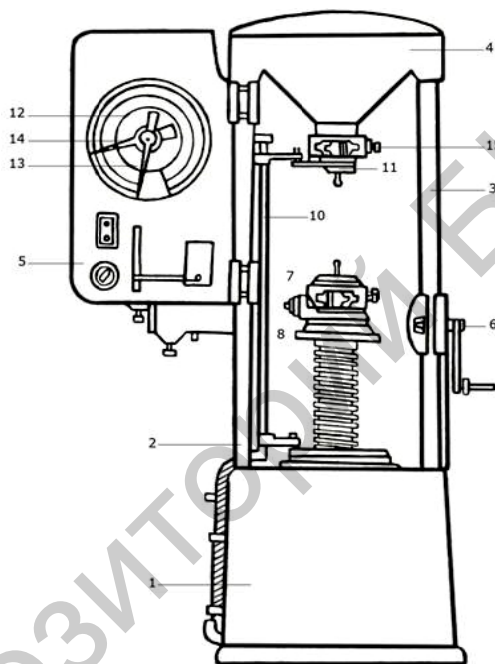


Рис. 5.3. Общий вид испытательной машины КМ-50-1

Машина состоит из следующих частей: остова, привода, механизма нагружения, моментоизмерителя, устройства записи, ручного привода, захватов и электроаппаратуры.

Остов представляет собой замкнутую раму, основание которой – чугунный корпус привода (1), боковые стороны – две стальные цилиндрические колонны (2) и (3), нижние концы их закреплены в корпусе привода, а верхние закреплены чугунным корпусом механизма нагружения (4). На левой колонне укреплен корпус моментоизмерителя (5). На остове размещаются все узлы и детали машин.

При работе электродвигателя в зависимости от установки переключателей скоростей активный захват совершает 1 или 0,3 оборота в минуту. При работе ручным приводом (6) переключатель скоростей должен быть установлен в нейтральное положение, чтобы зубчатые передачи не работали, т.е. против отметки «0».

Для закрепления образцов различной длины нижний активный захват может устанавливаться на различной высоте маховиком (8). Нижний захват расположен в ходовом винте на направляющих, выполненных внутри шариковых обойм, которые обеспечивают осевое давление захвата во время испытания образцов.

Угол образования описывается по шкале (9), установленной на ходовом винте. В шкале 360 делений, цена каждого из них соответствует углу закручивания в 1° . Целые обороты ходового вала фиксирует специальный счетчик с пределом измерения в 10 оборотов.

Показания по шкале углов закручивания соответствуют относительному повороту захвата машины, т.к. поправка на поворот верхнего захвата вносится автоматически корректирующим приспособлением (10). Верхнюю направляющую корректирующего устройства перед испытанием образца необходимо подводить рукой до соприкосновения с верхним захватом (11).

Необходимо иметь в виду, что из-за инерционного пробега вала нижнего захвата после выключения механического привода в момент разрушения образца углы закручивания следует отсчитывать по шкале, если они не менее 200° , точно отсчитывать каждые углы можно лишь при нагружении образца ручным приводом.

Для создания уравнивающего момента привода служит механизм нагружения, в нижней части которого установлен верхний захват (11). Уравнивающий момент создается с помощью сектора, связанного гибкой связью с маятником, который имеет съемные грузы, которые устанавливаются в зависимости от применяемой при испытании шкалы моментоизмерителя.

Моментоизмеритель предназначен для отсчета по шкале моментов (12) при помощи рабочей (13) и контрольной (14) стрелок момента, приложенного к образцу. Конструкция моментоизмерителя рассчитана так, что величина момента, приложенного к образцу, прямо-пропорциональна углу отклонения рабочей стрелки по круговой шкале. Стрелка по круговой шкале показывает непосредственно действующий на образец момент.

Для закрепления образцов, испытываемых на кручение, машина имеет клиновые захваты. Верхний захват (11) установлен в шпинделе головки нагружения, нижний захват (7) – в ходовом винте. Клиновые захваты снабжены постоянными вкладышами, которые перемещаются пружиной, поджимаемой рукояткой. Вкладыши захватом снабжены комплектом сменных, термически обработанных губок, рассчитанных на закрепление образцов различной толщины и диаметра. Для удобства заправки и снятия образцов в захватах сделаны прорезы. Верхний захват имеет фиксатор (15), удерживающий губки раскрытыми.

На рис 5.4 представлен эскиз образца круглого сечения.

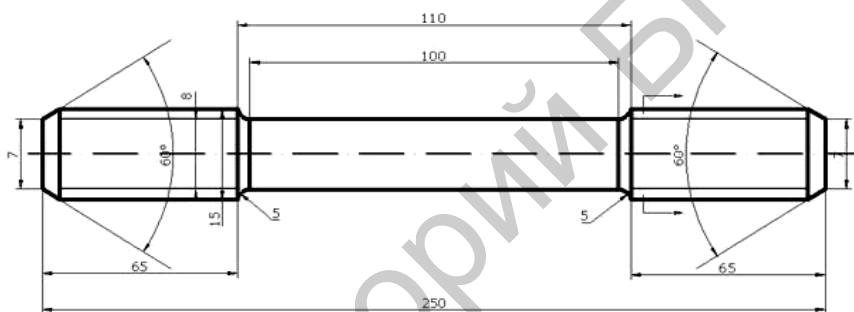


Рис. 5.4 Эскиз образца круглого сечения

5.3. Порядок выполнения работы

1. Возьмите образец со стола (рис. 5.5).



Рис. 5.5. Столы с образцами

2. Установите образец в испытательную машину. Возьмите образец в руки, примените его к любому кулачку КМ-50-1, образец дол-

жен исчезнуть. Далее (рис. 5.6) нужно ручку захвата (1) поверните по часовой стрелке на 30° , при этом вращении плашка (2) будет совершать движение от вас, а плашка (3) движение к вам. В результате этого движения расстояние между плашками (2) и (3) несколько увеличится. В таком положении захватов между кулачками появляется образец, и ручка (1) совершает движение против часовой стрелки. Плашки сходятся и образец зажимается.

3. Включите КМ-50-1. Поверните тумблер (2) (рис. 5.7) в положение «Вкл».

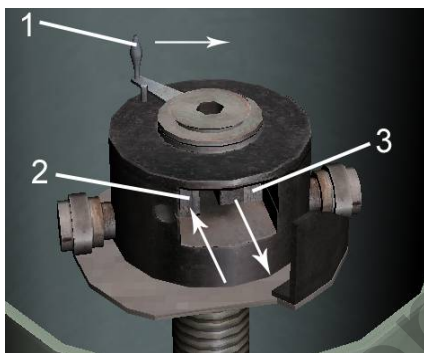


Рис. 5.6. Работа захвата

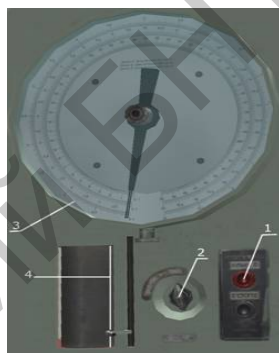


Рис. 5.7. Пульт управления и индикаторные приборы

Нажмите кнопку «ПУСК» (1). Образец начнет закручиваться. На шкале отобразится напряжение (5.8).

4. Одна стрелка связана с процессом и показывает данные процесса, а вторая стрелка приводится в движение первой. Смысл второй стрелки – показать максимальное зафиксированное значение, то есть когда первая шкала укажет максимум, а потом пойдет на понижение, вторая шкала останется на максимуме. Ручное управление второй стрелкой осуществляется при помощи рукоятки в центре.

Из отверстия динамографа начнет выходить диаграмма (рис. 5.9).

На рис. 5.10 серая подложка является шкалой отображающей угол закручивания.

Шкала по кругу проградуирована от 0 до 360. Белый квадратик – стрелка, показывающая угол. Стрелка неподвижна, вращается диск со шкалой. Изначально диск ориентирован на 0. Эту шкалу можно

вращать до проведения опыта, пока кнопка «ПУСК» не была нажата. Вращать ее пользователю нужно, только для установки на 0. Если перед опытом (вторым или третьим) ноль не выставлен, то угол закручивания суммируется с предыдущим.



Рис. 5.8. Шкала момента

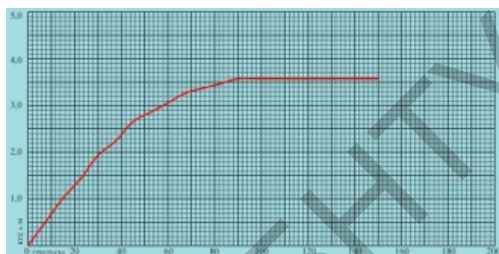


Рис. 5.9. Пример диаграммы зависимости угла закручивания от прилагаемого момента

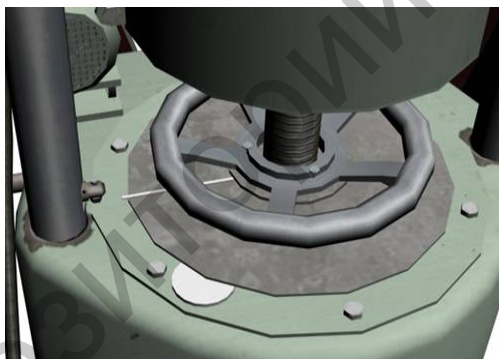


Рис. 5.10. Шкала угла поворота

Маленький белый цилиндр – шкала счетчика полных оборотов, от 0 до 10. Шкалу можно вращать только не во время проведения опыта. Неустановленная на ноль шкала суммирует результат предыдущего опыта с результатом последующего опыта.

5. После проведения опыта образец разрывается. КМ-50-1 автоматически выключается. Необходимо извлечь сломанный образец (можно положить его на стол).

6. Необходимо извлечь диаграмму процесса. Диаграмму можно положить на стол и увеличить (клик левой клавишей мыши).

7. Установить шкалы и пассивную стрелку на ноль.

8. По соответствующим шкалам последовательно зафиксируйте угол закручивания φ и соответствующее ему значение крутящего момента M_k вплоть до разрушения образца.

9. По полученным значениям изобразите диаграмму кручения образца.

5.4. Вычисления

1. Вычислите условный предел прочности при кручении для чугунного и деревянного образцов:

$$\tau_B = \frac{M_{Max}}{W_p}, \quad (5.1)$$

где τ_B – предел прочности при кручении;

M_{Max} – разрушающий момент;

W_p – полярный момент сопротивления, вычисленный по диаметру образца до испытания:

$$W_p = \frac{\pi d^3}{16}.$$

Для стального образца применяется следующая формула:

$$\tau_B = \frac{M_{Max}}{W_{пл}}, \quad (5.2)$$

где $W_{пл}$ – пластический момент сопротивления:

$$W_{пл} = \frac{\pi d^3}{12}.$$

Для стального образца используется формула (5.1), потому что этот вид образца разрушается при получении больших пластических деформаций.

2. По величине угла закручивания, при котором произошло разрушение образца, определите пластичность материала.
3. Оформите отчет по лабораторной работе.

5.5. Отчет

1. Цель и задачи работы.
2. Приборы, оборудование и обеспечение.
3. График зависимости угла закручивания $\Delta\varphi$ от крутящего момента M .
4. Вычисление основных механических характеристик.
5. Выводы.

5.6. Контрольные вопросы

1. Какие напряжения возникают в точках образца при кручении: в плоскостях, перпендикулярных к оси; в плоскостях, расположенных под углом 45° к оси стержня?
2. Как по характеру разрушения образца определить, какой вид напряжений наиболее опасен для данного материала?
3. Что можно сказать о свойствах материала, если разрушение образца произошло по плоскости, расположенной под углом 45° к его оси?
4. Какие образцы называются нормальными?
5. Чем отличаются нормальные участки диаграмм кручения чугуна и стального образцов?
6. Какой вид имеют поверхности излома чугуна и стального образцов?
7. Чем отличаются формулы для подсчета условного предела прочности при кручении для образцов из пластинчатых и хрупких материалов?
8. При испытании было установлено, что один образец разрушается при угле закручивания 60° , а другой – при угле 500° . Сравните пластичность испытываемых материалов?

Список литературы

1. Беляев, Н. М. Лабораторные работы по сопротивлению материалов / Н. М. Беляев. – М.: Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1954. – 287 с.
2. Баклицкий, В. Ф. Методические указания к лабораторным работам / В. Ф. Баклицкий. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1988.
3. Баклицкий, В. Ф. Методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Прикладная механика» на тему «Опытная проверка теоремы о взаимности перемещений» / В. Ф. Баклицкий. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1995. – 8 с.
4. Ильницкая, О. В. Руководство по лабораторным работам по курсу «Сопротивление материалов» / О. В. Ильницкая, Г. В. Шимова. – Тюмень: ТВИКУ, 1987. – 70 с.
5. Рубашкин, А. Г. Лабораторные работы по сопротивлению материалов / А. Г. Рубашкин. – М.: Высшая школа, 1971. – 240 с.

Лабораторная работа № 6

ПРОВЕРКА ПРАВИЛЬНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ РЕАКЦИИ СРЕДНЕЙ ОПОРЫ ДВУХПРОЛЕТНОЙ НЕРАЗРЕЗНОЙ БАЛКИ МЕТОДОМ СИЛ

Цель работы: экспериментальная проверка правильности результатов расчета при определении реакции средней опоры двухпролетной неразрезной балки методом сил и оценка погрешности.

6.1. Теория

Расчетная схема представляет собой неразрезанную балку на трех опорах с двумя консолями.

Одна опора шарнирно неподвижна, а две шарнирно подвижные.

Пролеты между опорами приняты равными $l_1/2$, консоли имеют одинаковый вылет l_2 (рис. 6.1).

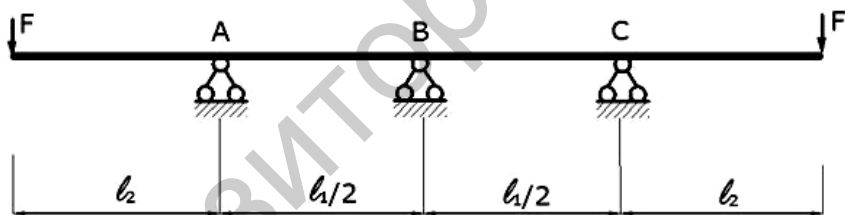


Рис. 6.1. Расчетная схема неразрезанной балки

На концах консолей приложены одинаковые силы F . Рассматриваемая балка постоянной жесткости $EJ = \text{const}$. Сечение в виде прямоугольника.

Поставим перед собой задачу определить теоретическим и опытным путем реакцию промежуточной опоры R , в дальнейшем B , и сравним полученные результаты.

Перед нами балка, на которую накладывается четыре связи (реакции) – две в шарнирно неподвижной опоре A и по одной в опорах B и C .

Для отыскания этих связей необходимо записать четыре уравнения. Для плоской, представленной на рис. 6.1 схеме можно составить только три уравнения равновесия:

1) сумма проекций всех сил на ось X равна нулю $\sum F_{kx} = 0$.

2) сумма проекций всех сил на ось Y равна нулю $\sum F_{ky} = 0$.

3) сумма моментов относительно шарнира A равна нулю $\sum M_A = 0$.

Таким образом, не хватает еще одного уравнения. Такая балка называется статически неопределимой. Для раскрытия статически неопределимой балки воспользуемся методом сил.

Согласно этому методу:

1) выясняем степень статической неопределимости, т.е. разность между числами неизвестных реакций опор и числом независимых уравнений статики. В нашем случае число неизвестных реакций равно четырем, а уравнений статистики трем (для плоской системы). Таким образом, $4 - 3 = 1$, т.е. балка один раз статически неопределима;

2) путем удаления лишней связи заменяем исходную систему статически определимой, которая носит название основной системы (рис. 6.2, а);

3) основная система нагружается заданной нагрузкой (рис. 6.2, б), а в точках удаления связей прикладываются лишние неизвестные усилия (в нашем случае $-x_1$). Такая система называется эквивалентной.

Каноническое уравнение метода сил для выбранной схемы:

$$\delta_{II} x_I + \Delta_I = 0. \quad (6.1)$$

Основные перемещения в рассматриваемой балке определяются изгибом. Поэтому строим эпюры изгибающих моментов от заданных сил (рис. 6.2, в) и от единичной силы (рис. 6.2, д). Далее определяем коэффициент δ_{II} и свободный член Δ_{IF} уравнения (6.1).

Определим эти коэффициенты методом Верещагина.

Согласно этому методу δ_{II} определяется путем перемножения эпюры (рис. 6.2, д) самой на себя. Для каждого участка берется площадь эпюры и умножается на ординату этой же эпюры, проходящую через ее центр тяжести.

$$\delta_{ll} = \frac{2}{EJ} - \frac{1}{2} \frac{l_1}{2} \frac{l_1}{4} - \frac{2}{3} \frac{l_1}{4} = \frac{l_1^3}{48EJ}. \quad (6.2)$$

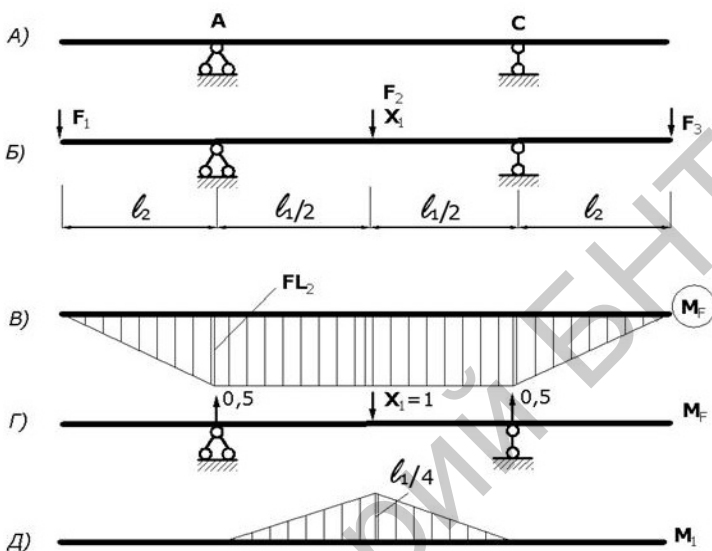


Рис. 6.2. Порядок расчета статически неопределимой балки методом сил

Для определения Δ_{LF} необходимо перемножить эпюры M_l и M_F между собой:

$$\Delta_{LF} = -\frac{l_1 l_1 F l_2 2}{2 \cdot 2 \cdot 4 \cdot EJ} = -\frac{F l_1^2 l_2}{8EJ}. \quad (6.3)$$

Подставляем найденные коэффициенты в уравнение (6.1) и получаем

$$x_l = \frac{6F l_2}{l_1} = 2. \quad (6.4)$$

Это и есть величина реакции промежуточной опоры.

6.2. Оборудование

Для проведения лабораторной работы понадобится следующее оборудование:

- установка СМ-4А (рис. 6.3);
- комплект грузов, массой каждый 10 Н (рис. 6.4);
- линейка (рис. 6.5);
- индикатор часового типа с опорой (рис. 6.6, 6.7).

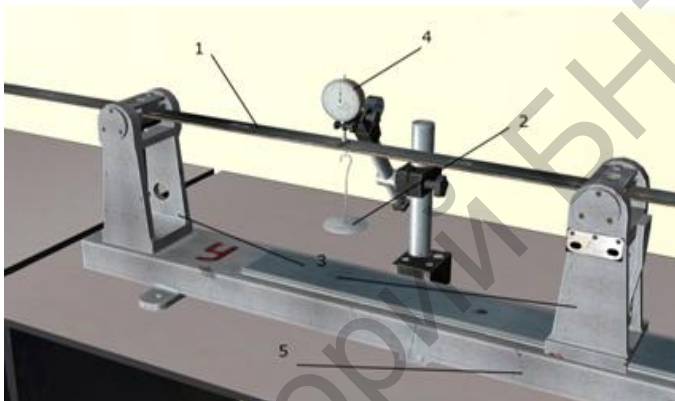


Рис. 6.3. Установка СМ-4А для определения перемещений при изгибе



Рис. 6.4. Комплект грузов



Рис. 6.5. Линейка, установленная на балке

Стрелочным индикатором измеряются перемещения (прогибы). Схема и его общий вид показаны на рис. 6.6 и 6.7.

Для измерения перемещений он устанавливается неподвижно и штифтом (1) опирается в точке А, перемещение которой определяется по направлению штифта (1). При перемещении точки А конец штифта следует за ней, так как штифт при помощи пружинки (2) все время прижат к этой точке.

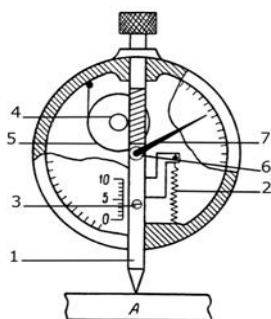


Рис. 6.6. Схема стрелочного индикатора



Рис. 6.7. Стрелочный индикатор

Перемещение штифта отмечается движением указателя (3), прикрепленного к штифту, по шкале с миллиметровыми делениями, нанесенными по краю прорези.

Штифт в средней части имеет винтовую нарезку и соединен с червячным колесом (4), на одной оси с которым помещается шестеренка (5). Шестеренка (5) находится в соединении с шестеренкой (6), к оси которой прикреплена стрелка (7). При перемещении штифта на 1 мм стрелка, благодаря принятым соотношениям размеров червячной и шестереночной передач делает полный оборот. По окружности, описываемой стрелкой, нанесена шкала со 100 делениями. Следовательно, одно деление циферблата соответствует перемещению штифта на 0,01 мм.

Таким образом, по вертикальной шкале отсчитываются целые миллиметры, а по циферблату – доли миллиметра. Если отсчеты по циферблату оценивать на глаз, до одной десятой деления, то измерение перемещений может быть произведено с точностью до 0,001 мм.

В некоторых моделях индикаторов вместо прорези со шкалой для отсчета целых миллиметров перемещения штифта устроен второй циферблат с маленькой стрелкой и отсчитываются целые миллиметры (рис. 6.4). Величина поступательного перемещения штифта, а следовательно, и предельное перемещение, которое можно замерить без перестановки индикатора, обычно равняется 10 мм.

Стрелочным индикатором можно определять и линейные деформации. При измерении деформаций индикатор закрепляется между двумя точками (сечениями) таким образом, чтобы корпус его был

неподвижно скреплен с одной точкой (сечением), а штифт опирался в другой точке. Изменение отсчетов по циферблату и даст величину изменения длины между фиксированными точками (сечениями).

На большой шкале (2) расположено 100 делений. Полный круг стрелки (1) будет соответствовать 1 мм, соответственно одно деление – 0,01 мм. Черная разметка – движение измерительной иглы снизу вверх (вдавливание иглы внутрь прибора). Красная шкала – движение стрелки из прибора (сверху вниз). Маленькая круглая шкала (3) считает целые миллиметры (всего 10 мм).

6.3. Порядок проведения работы

В соответствии с целью работы, необходимо экспериментальная проверка результатов расчета при определении реакции средней опоры двухпролетной неразрезной балки.

Замерьте линейкой вылеты l_2 консолей и расстояние между опорами l_1 (рис. 6.8).

В среднем сечении B на расстоянии $\frac{l_1}{2}$ от опоры A прикрепляется подвеска для грузов и индикатор для определения перемещений этого сечения (рис. 6.9).



Рис. 6.8. Замер вылетов



Рис. 6.9. Установленный индикатор

Опыт проводится следующим образом. При нагружении балки записывают показания индикатора n . Подвешиваем грузы F на концах консолей, при этом среднее сечение поднимается и индикатор покажет перемещение n , затем загружаем среднюю подвеску до тех пор, пока индикатор не покажет $n = 0$. Вес груза при этом и будет равен реакции промежуточной опоры. Опыт следует повторить не менее трех раз, а в случае большого расхождения и больше.

В заключение сравниваем значение B , полученное по формуле (6.4), и F_1 нагрузку на средней подвеске.

$$\frac{B - F_1}{B} 100 \%. \quad (6.5)$$

6.4. Контрольные вопросы

1. Запишите каноническое уравнение метода сил.
2. Что такое грузовая эпюра изгибающих моментов?
3. Что такое единичная эпюра изгибающих моментов?
4. Что означают и в методе сил?
5. Что означают индексы перемещений и в методе сил?
6. Каков физический смысл канонических уравнений метода сил?
7. Какие системы называют статически неопределимыми?
8. Как определяется степень статической неопределимости?
9. Приведите порядок расчета статически неопределимых систем методом сил.
10. Как влияют упругие свойства материала на деформацию?
11. Как влияют размеры и форма поперечного сечения на деформацию балки?

6.5. Отчет

Цель работы _____

Измерительные приборы _____

Цена деления шкалы индикатора k _____ мм

Схема установки

Размер балки

Пролет _____ мм

Вылет _____ мм

Результаты опыта

Нагрузка F _____ Н

Вес груза в пролете F_1 _____ Н

Реакция, определенная теоретически в _____ Н

Расхождение между вычисленными и опытными значениями реакции в %

$$\frac{B - F_l}{B} 100 \%$$

Выводы: _____

Работу выполнил _____

Отчет принял _____

«__» _____ 20__ г.

Список литературы

1. Беляев, Н. М. Лабораторные работы по сопротивлению материалов / Н. М. Беляев. – М.: Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1954. – 287 с.
2. Баклицкий, В. Ф. Методические указания к лабораторным работам / В. Ф. Баклицкий. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1988.
3. Баклицкий, В. Ф. Методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Прикладная механика» на тему «Определение реакции промежуточной опоры двухпролетной неразрезной балки» / В. Ф. Баклицкий. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1995. – 10 с.
4. Ильницкая, О. В. Руководство по лабораторным работам по курсу «Сопротивление материалов» / О. В. Ильницкая, Г. В. Шимова. – Тюмень: ТВИКУ, 1987. – 70 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ И УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В ПРОИЗВОЛЬНЫХ СЕЧЕНИЯХ БАЛКИ

Цель работы: усвоение студентами основы инженерных методов определения линейных и угловых перемещений в произвольных сечениях балки.

Задача: проверка формул сопротивления материалов (интеграл Мора) экспериментальным методом и оценка погрешности.

7.1. Теория. Общий метод определения перемещения, пригодный для любой линейно-деформируемой системы

Рассмотрим общий метод определения перемещения, пригодный для любой линейно-деформируемой системы, при любой нагрузке. Этот метод предложен выдающимся немецким ученым О. Мора.

Согласно метода Мора для определения линейного или углового перемещения сечения, необходимо воспользоваться интегралом Мора в виде:

$$\Delta = \sum \oint_0^1 \frac{M_1 M_F dz}{EJ}, \quad (7.1)$$

где EJ – жесткость участка балки;

M_1 – выражение для изгибающего момента для произвольного участка, от единичной нагрузки, приложенной к сечению, где определяются перемещение;

M_F – выражение для изгибающего момента от заданной внешней нагрузки для того же произвольного участка.

Интеграл записывается для каждого участка балки.

В качестве примера рассмотрим балку с консолями постоянной жесткости EJ и лежащую на двух опорах (рис. 7.1). Загрузим ее на консоли в точке 4 силой F и поставим перед собой задачу методом Мора определить перемещение сечений в точках 2, 4 (рис. 7.1) и угол поворота сечения на левой опоре в точке 1.

Определим из уравнений равновесия балки реакции в опорах 1, 3:

$$\sum M_1 = B \cdot 2l - F \cdot 3l = 0, B = 1,5F. \quad (7.2)$$

$$\sum M_3 = A \cdot 2l - F \cdot l = 0, A = 0,5F. \quad (7.3)$$

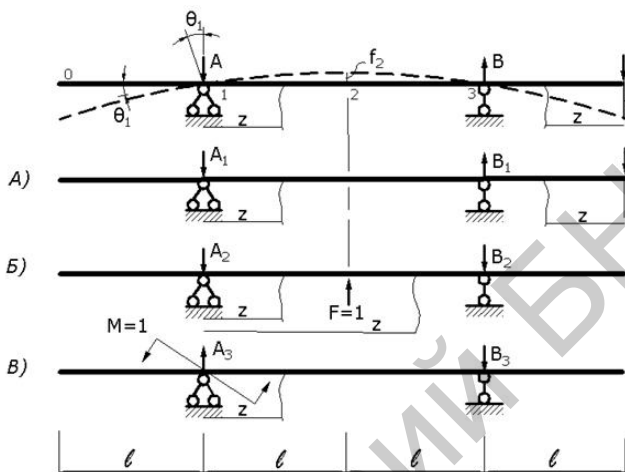


Рис. 7.1. Расчетная схема балки

Согласно предложенного метода, запишем уравнения моментов для каждого участка балки (4).

$$M_{13} = -AZ; 0 \leq Z \leq 2l, \quad (7.4)$$

$$M_{43} = -FZ; 0 \leq Z \leq l.$$

Для определения перемещения сечения в точке 4 прикладываем единичную силу по направлению этого перемещения (рис. 7.1, а) и определяем от нее реакции на опорах.

$$\sum M_1 = A_1 2l - 1l = 0; A_1 = 0,5, \quad (7.5)$$

$$\sum M_3 = B_1 2l - 1 \cdot 3l = 0; B_1 = 1,5. \quad (7.6)$$

И для тех же участков записываем уравнение моментов:

$$\sum M_{13} = -A_1 Z; 0 \leq Z \leq 2l.$$

$$\sum M_{43} = -1Z; 0 \leq Z \leq l. \quad (7.7)$$

Полученные выражения представляем в интеграл Мора (7.1):

$$f_4 = \frac{1}{EJ} \int_0^{2l} (-AZ)(-A_1 Z) dZ + \frac{1}{EJ} \int_0^l (-FZ)(-1Z) dZ = \frac{Fl^3}{EJ}. \quad (7.8)$$

Для определения перемещения в сечении (2) прикладываем единичную силу в этом сечении (рис. 7.1, б) и от нее определяем реакцию в опорах.

$$\sum M_1 = B_2 2l - 1 \cdot 3l = 0; B_2 = 0,5.$$

$$\sum M_3 = A_2 2l - 1l = 0; A_2 = 0,5. \quad (7.9)$$

Записываем уравнение моментов от этой единичной силы:

$$\sum M_{12} = -A_2 Z, 0 \leq Z \leq l,$$

$$\sum M_{13} = -A_2 Z + 1(Z - l), 1 \leq Z \leq 2l. \quad (7.10)$$

Полученные выражения подставляем в (7.1):

$$f_2 = \frac{1}{EJ} \int_0^l (-AZ)(-A_2 Z) dZ + \frac{1}{EJ} \int_0^{2l} (-AZ)[-A_2 Z + 1(Z - l)] dZ = \frac{Fl^3}{4EJ}. \quad (7.11)$$

Для определения угла поворота сечения на левой опоре приложим к ней единичный момент (рис. 2.1, в) и определим от него реакции в опорах:

$$\sum M_1 = -1 + B_3 2l = 0; B_3 = \frac{1}{2l}.$$

$$\sum M_3 = A_3 2l - 1 = 0; A = \frac{1}{2l}. \quad (7.12)$$

Запишем уравнения моментов для каждого участка для балки (рис. 7.1, в):

$$\sum M_{13} = -1 + AZ, \quad 0 \leq Z \leq 2l. \quad (7.13)$$

Определяем угол поворота сечения на левой опоре по формуле (7.1):

$$\theta_1 = \frac{1}{EJ} \int_0^{2l} (-AZ)(-1 + A_3Z) dZ = \frac{Fl^3}{3EJ}. \quad (7.14)$$

7.3. Оборудование

Для проведения лабораторной работы понадобится следующее оборудование:

- установка СМ-4А (рис. 7.2);
- стрелочный индикатор с опорой (см. рис. 6.6, 6.7);
- комплект грузов массой 10 Н (рис. 7.3);
- линейка (рис. 7.4).

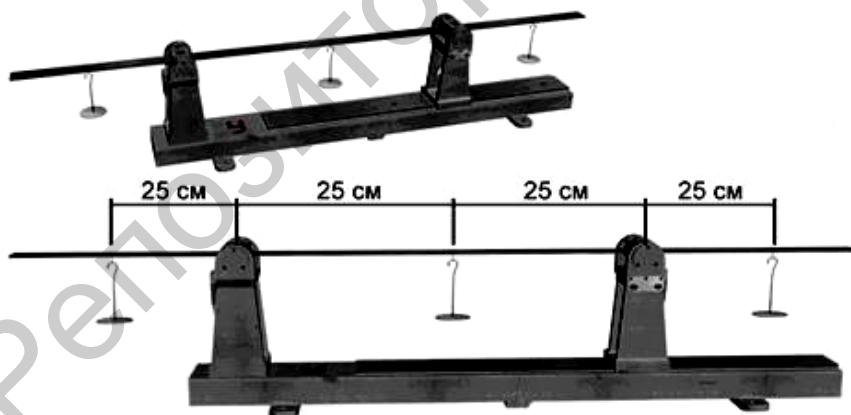


Рис. 7.2. Установка СМ-4А



Рис. 7.3. Комплект грузов



Рис. 7.4. Линейка, установленная на балке

Стрелочным индикатором измеряются перемещения (прогибы). Для измерения перемещений он устанавливается неподвижно и штифтом (1) опирается в точке А, перемещение которой определяется по направлению штифта (1). При перемещении точки А конец штифта следует за ней, так как штифт при помощи пружинки (2) все время прижат к этой точке.

Перемещение штифта отмечается движением указателя (3), прикрепленного к штифту, по шкале с миллиметровыми делениями, нанесенными по краю прорези.

Штифт в средней части имеет винтовую нарезку и соединен с червячным колесом (4), на одной оси с которым помещается шестеренка (5). Шестеренка (5) находится в соединении с шестеренкой (6), к оси которой прикреплена стрелка (7). При перемещении штифта на 1 мм стрелка, благодаря принятым соотношениям размеров червячной и шестереночной передач делает полный оборот. По окружности, описываемой стрелкой, нанесена шкала со 100 делениями. Следовательно, одно деление циферблата соответствует перемещению штифта на 0,01 мм.

Таким образом, по вертикальной шкале отсчитываются целые миллиметры, а по циферблату – доли миллиметра. Если отсчеты по циферблату оценивать на глаз, до одной десятой деления, то измерение перемещений может быть произведено с точностью до 0,001 мм. В некоторых моделях индикаторов вместо прорези со шкалой для отсчета целых миллиметров перемещения штифта устроен второй циферблат с маленькой стрелкой и отсчитываются целые миллиметры (рис. 7.3). Величина поступательного перемещения штифта, а следовательно, и предельное перемещение, которое можно измерить без перестановки индикатора, обычно равняется 10 мм.

Стрелочным индикатором можно определять и линейные деформации. При измерении деформаций индикатор закрепляется между двумя точками (сечениями) таким образом, чтобы корпус его был неподвижно скреплен с одной точкой (сечением), а штифт опирался в другой точке. Изменение отсчетов по циферблату и даст величину изменения длины между фиксированными точками (сечениями).

На большой шкале (2) расположено 100 делений. Полный круг стрелки (1) будет соответствовать 1 мм, соответственно одно деление – 0,01 мм. Черная разметка – движение измерительной иглы снизу вверх (вдавливание иглы внутрь прибора). Красная шкала – движение стрелки из прибора (сверху вниз). Маленькая круглая шкала (3) считает целые миллиметры (всего 10 мм).

Для опыта возьмите балку (1) прямоугольного сечения с размерами b и h и размерами участков L , показанных на рис. 7.2.

Нагрузите ее на конце силой F . Нагрузка осуществляется путем приложения к подвеске (2) грузов F . Балка опирается на две опоры (3).

Размеры балки выбраны так, что бы при небольшой нагрузке она получала значительные деформации, т.е. балка изгибается в плоскости наименьшей жесткости.

Измерение прогиба в интересующем нас месте осуществляется с помощью индикатора (4), закрепленного на станине (5) при помощи стойки.

Для определения угла поворота сечения на левой опоре используют также индикатор, установленный на левой консоле.

7.4. Порядок выполнения работы

Перед опытом замерьте размеры поперечного сечения b и h , а также длины l . Для этого взяв линейку в руки, применим ее к СМ-4А. Перемещая линейку влево и вправо, визуально замерьте размеры на балке (от опор до штырей для груза).

Установите индикатор в точке (0), стрелки установите на ноль (рис. 7.5). Стрелочный индикатор должен находиться над средним навесом для груза. Игла измерительная должна едва касаться балки. Затем балку нагрузите нагрузкой F и запишите показания индикатора в табл. 7.1.

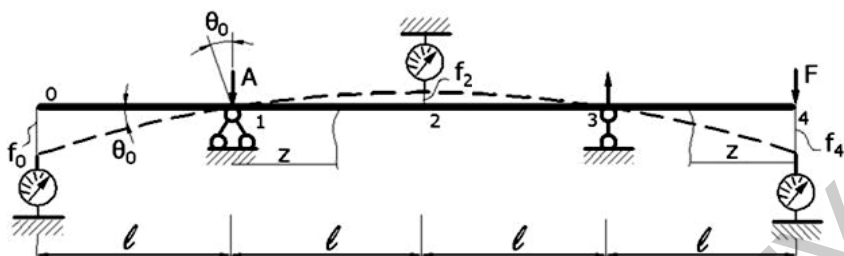


Рис.7.5. Схема установки СМ-4А

Таблица 7.1

Результаты измерений

Нагрузка F , Н	Показания индикатора (в делениях прибора)						Прогибы		
	f_0	Δf_0	f_2	Δf_2	f_4	Δf_4	$\Delta f_0 \cdot k$	$\Delta f_2 \cdot k$	$\Delta f_4 \cdot k$
F , Н									
Средние приращения отсчетов		$\Delta f_{0cp} =$		$\Delta f_{2cp} =$		$\Delta f_{4cp} =$			

Установите индикатор в точке (2), стрелки установите на ноль (рис. 7.5). Стрелочный индикатор должен находиться над средним навесом для груза. Игла измерительная должна едва касаться балки. Запишите показания индикатора в табл. 7.1.

Установите индикатор в точке (4), стрелки установите на ноль (рис. 7.7). Стрелочный индикатор должен находиться над средним навесом для груза. Игла измерительная должна едва касаться балки. Запишите показания индикатора в табл. 7.1.

Определив прогибы сечения 2 и 4, сравните полученные значения с теоретическими значениями прогибов этих же сечений по формулам 7.8, 7.11.

$$f_4 = \frac{Fl_3}{EJ}; f_2 = \frac{Fl_3}{4EJ} \quad (7.15)$$

и сравните их величины в процентах:

$$\frac{f_4 - \Delta f_{4cp} k}{f_4} 100 \% =$$

$$\frac{f_2 - \Delta f_{2cp} k}{f_2} 100 \% =$$
(7.16)

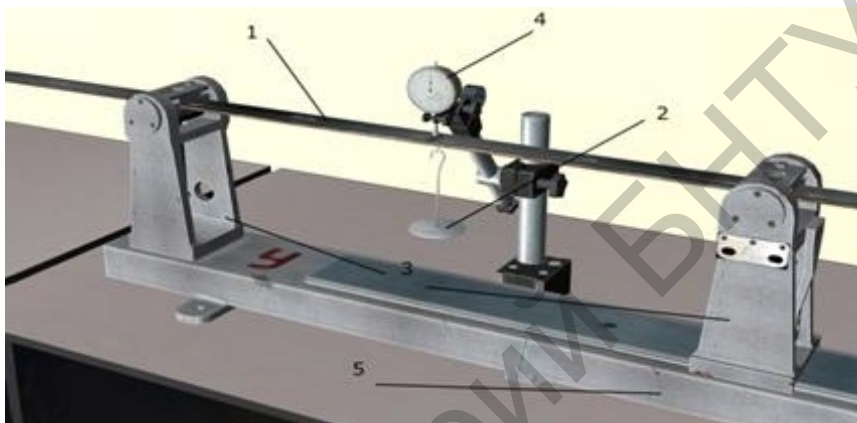


Рис. 7.6. Установка СМ-4А для определения перемещений при изгибе

Угол поворота на левой опоре определите по показанию левого индикатора $f_{0cp} \cdot k$

$$\operatorname{tg} \theta_0 = \frac{f_{0cp} k}{l}.$$
(7.17)

Теоретический угол поворота

$$\theta_0^{\text{теор}} = \frac{Fl^2}{3EJ}.$$
(7.18)

Сравните их величины в процентах:

$$\frac{\theta_0^{\text{теор}} - \theta_0}{\theta_0^{\text{теор}}} 100 \% =$$
(7.19)

7.5. Контрольные вопросы

1. Какие методы определения деформаций при изгибе вы знаете?
2. Что является деформацией при изгибе?
3. Что такое линейная деформация при изгибе?
4. Что такое угловая деформация при изгибе?
5. Как влияют упругие свойства материала на деформацию?
6. Как влияют размеры и форма сечения балки на деформацию?
7. Что такое поперечная сила и как она определяется в произвольном сечении балки (правило знаков)?
8. Что такое изгибающий момент и как он определяется в произвольном сечении балки (правило знаков)?
9. Что такое грузовой момент?
10. Что такое единичный момент?
11. Напишите формулу интеграла Мора.
12. В каком случае нужно прикладывать единичную силу, а в каком – единичный момент?
13. В каких пределах ведется интегрирование при определении деформаций по интегралу Мора?
14. Напишите условие жесткости.

7.6. Отчет

Цель работы _____

Испытательная установка _____

Схема нагружения балки и расположение на ней всех приборов

Размеры балки

Ширина _____ мм

Высота h _____ мм

Момент инерции J _____ мм⁴

Модуль упругости E _____ Н/мм²

Показание приборов в (табл. 7.1) _____

$f_2^{\text{теор}}$ _____

$f_4^{\text{теор}}$ _____

$f_0^{\text{теор}}$ _____

θ_0 _____

Расхождение в % _____

f_2 _____
 f_4 _____
 θ_0 _____

Выводы:

Работу выполнил _____

Отчет принял _____

Список литературы

1. Афанасьев, Л. М. Лабораторный практикум по сопротивлению материалов / Л. М. Афанасьев, В. А. Марьин.
2. Беляев, Н. М. Лабораторные работы по сопротивлению материалов / Н. М. Беляев. – М.: Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1954. – 287 с.
3. Баклицкий, В. Ф. Методические указания к лабораторным работам / В. Ф. Баклицкий. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1988.
4. Баклицкий, В. Ф. Методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Прикладная механика» по теме «Определение деформаций балки при изгибе» / В. Ф. Баклицкий. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1995. – 10 с.
5. Ильницкая, О. В. Руководство по лабораторным работам по курсу «Сопротивление материалов» / О. В. Ильницкая, Г. В. Шимова. – Тюмень: ТВИКУ, 1987. – 70 с.
6. Рубашкин, А. Г. Лабораторные работы по сопротивлению материалов / А. Г. Рубашкин.

ОЗНАКОМЛЕНИЕ С МЕТОДОМ МЕХАНИЧЕСКОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ УПРУГОЙ СИСТЕМЫ С ОДНОЙ СТЕПЕНЬЮ СВОБОДЫ И ЯВЛЕНИЕМ РЕЗОНАНСА

Цель работы: ознакомление с методом механического возбуждения колебаний упругой системы с одной степенью свободы и явлением резонанса.

Задачи: усвоение раздела «Колебания стержней» курса «Механика материалов»; оценка правильности теоретических формул и степень их точности по отношению к практике.

8.1. Теория

Нагрузим балку, несущую по середине массу m , поперечной нагрузкой. Под действием нагрузки балка деформируется. Если затем быстро убрать нагрузку, то балка вместе с массой m начнет колебаться около положения равновесия. Если балке не сообщить дополнительной энергии, то колебания будут затухающими. Это собственные колебания системы.

Т.к. положение массы определяется одной координатой, то балка с массой посередине является упругой системой с одной степенью свободы.

Частота собственных колебаний при этом определяется по формуле (8.1).

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{q}{\delta}}, \quad (8.1)$$

где ω_0 – круговая частота (число колебаний за секунду);

q – ускорение силы тяжести;

δ – статический прогиб балки под действием силы равной весу массой m .

Колебания под действием внешней периодической силы называют вынужденными колебаниями.

Если частота возмущающей силы совпадает с частотой собственных колебаний, то наступает резонанс. При этом резко увеличивается амплитуда колебаний, а последовательно и напряжений, и деформаций. В определенных условиях может произойти разрушение.

8.2. Оборудование

Электрическая схема экспериментальной установки представлена на рис. 8.1.

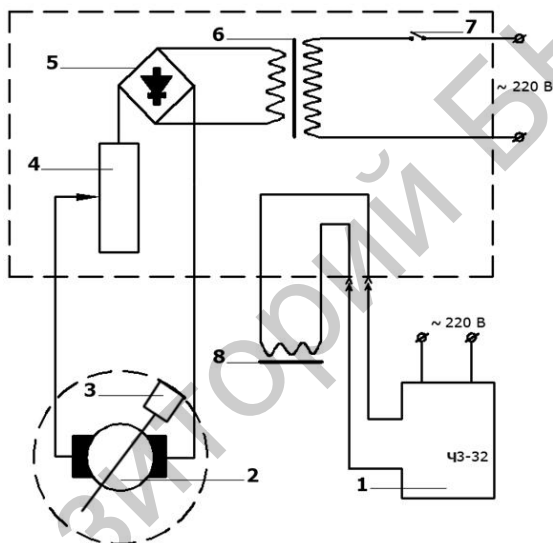


Рис. 8.1. Электрическая схема экспериментальной установки:

1 – частотометр электронносчетный ЧЗ-32; 2 – электродвигатель постоянного тока;
3 – магнит- грузик; 4 – реостат; 5 – диодный мостик; 6 – понижающий трансформатор; 7 – тумблер включения блока питания; 8 – катушка с сердечником

На корпусе двигателя закреплена катушка с сердечником (8). В качестве грузика (3), создающего центробежную силу, использован постоянный магнит.

Магнит, вращаясь на валу электродвигателя, проходит мимо катушки с сердечником и в последней наводится ЭДС индукции, т.е. по катушке кратковременно течет ток. Эти импульсы тока регистрируются электросчетным частотометром (1).

Определение частоты собственных колебаний упругой системы с одной степенью свободы проводится на специальной установке СМ-4А (рис. 8.2, 8.3).

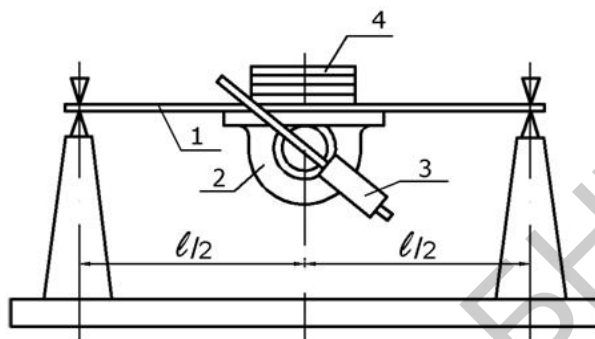


Рис. 8.2. Схема установки СМ-4А

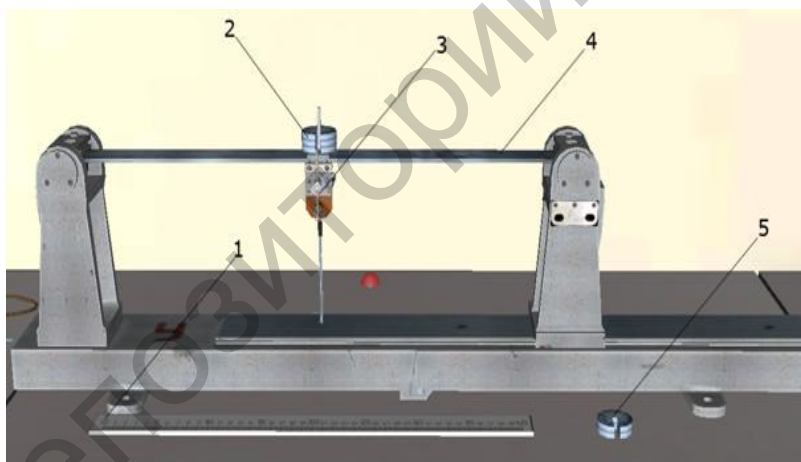


Рис. 8.3. Установка СМ-4А:

1 – линейка; 2 – установленные грузы (каждый по 100 грамм); 3 – электродвигатель массой 0,52 кг, 4 – балка массой 0,93 кг, шириной 2,5 см и высотой 0,8 см (коэффициент материала балки $2 \cdot 10^7$ Н/см²; 5 – комплект грузов

Балка (1) опирается на опоры (рис. 8.2). Посредине закреплен электродвигатель (2) с широким диапазоном регулирования скоростей вращения. На переднем конце вала электродвигателя укреплен гру-

зик (3), создающий дисбаланс. Над электромотором к балке крепятся грузы (4), позволяющие регулировать величину колеблющейся массы.

При вращении вала электромотора грузик создает центробежную силу. Ее направление изменяется вследствие вращения и, следовательно, вертикальная составляющая этой силы вызывает прогиб балки то вверх, то вниз. Таким образом, возникают вынужденные колебания в вертикальном направлении с частотой

$$\omega = \frac{\pi n}{30}, \quad (8.2)$$

где n – число оборотов электромотора в минуту.

Горизонтальную составляющую инерционной силы воспринимает опоры балки.

Резонанс наступает при $\omega = \omega_0$.

Число оборотов электромотора n определяют при помощи электронного цифрового частотомера (см. рис. 8.1). Электронносчетный частотомер ЧЗ-32 представлен на рис. 8.4.



Рис. 8.4. Электронносчетный частотомер ЧЗ-32:

1 – переключатель полярности запуска канала А; 2,3 – тумблера переключения генератора; 4 – тумблер «Сеть»; 5 – переключатель «Время счета»

Тумблер «Время счета» отвечает за время счета оборотов, то есть 60 – количество оборотов за минуту, 10 – за 10 секунд, 1 – за 1 секунду.

Регулятор оборотов представлен на рис. 8.5.

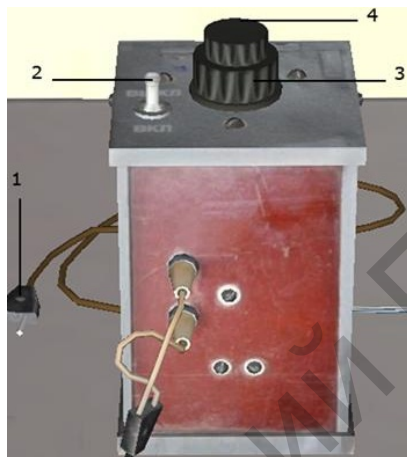


Рис. 8.5. Регулятор оборотов:

1 – вилка 220 В; 2 – выключатель; 3 – рукоятка регулирования оборотов двигателя;
4 – рукоятка более точного регулирования оборотов двигателя

Нижняя рукоятка (3) регулятора оперирует от 0 до 2580 об./мин; верхняя рукоятка (4) крутится на 360 градусов: 1 градус – 1 об./мин.

8.3. Порядок выполнения работы

8.3.1. Проведение эксперимента

1. В отчет заносится длина балки *l* (используется линейка, после замеров линейку отложите), масса электромотора, съемных грузов и балки, модуль упругости материала балки и размеры ее поперечного сечения.

2. Подключаем розетки регулятора оборотов и частотомера к сети (220 В).

3. Включите регулятор оборотов тумблером включения (рис. 3.7).

4. На частотомере (рис. 3.6) тумблер включения сети переведите в положение «Вкл». Поставьте переключатель «Время счета» в положение «60» (время счета за 60 секунд). Переведите переключатель полярности запуска канала А в положение « $\rightarrow\Omega$ », соответствующее форме входного сигнала. Тумблера переключения генератора должны находиться в положении «Авт» и «Внутр» (используется внутренний генератор в автоматическом режиме).

5. Установить груз на штырь электромотора.

6. С помощью реостата плавно увеличивайте скорость вращения, которая контролируется частотомером.

7. Наступление резонанса отмечается по резко возросшей амплитуде и постоянству оборотов. Даже при некотором выведении реостата, обороты электромотора не увеличиваются. Возрастает лишь амплитуда колебаний. Это объясняется тем, что с ростом амплитуды возрастает и кинетическая энергия системы. В этом состоянии воздействие колеблющейся массы на неуравновешенный ротор оказывается сильнее действия электромагнитных сил, побуждающих ротор, изменить скорость вращения.

Убедившись в наступлении резонанса, в отчет занесите показание частотомера (частотомер считает количество импульсов за 10 секунд).

8. Дополнительные наблюдения. Уменьшив амплитуду колебаний балки, «прижав» ее (это действие соответствует прижатию рукой) левой клавишей мышки. Сразу же увеличиваются обороты, так как прекратится воздействие раскачавшейся массы.

При освобождении балки обнаруживается, что амплитуда существенно уменьшилась, так как ввиду возросшей скорости вращения вала частота вынужденных колебаний стала выше частоты собственных колебаний и явление резонанса же не имеет места.

8. Плавно задайте небольшую скорость вращения. При этом частота будет увеличиваться, а амплитуда все более уменьшаться, сходя почти на нет.

9. Испытания повторяйте с различной массой системы.

8.3.2. Обработка результатов

1. Определите массу системы, состоящей из массы электромотора с грузиком – m , (массы съемных плиток – m_n и приведенной мас-

сы балки – $0,5m_{\delta}$) (масса балки, равномерно распределенная по ее длине приводится к середине путем умножения на 0,5):

$$m_c = m_g + m_n + 0,5m_{\delta}. \quad (8.1)$$

2. Статическая нагрузка

$$F = mg. \quad (8.2)$$

3. Момент инерции сечения балки

$$J_x = \frac{bh^3}{12}. \quad (8.3)$$

4. Статический прогиб посередине балки определите при помощи интеграла Мора:

$$\Delta = \sum \oint_0^1 \frac{M_1 M_F dz}{EJ}. \quad (8.4)$$

Для этого загрузите балку посередине пролета сосредоточенной силой F (рис. 8.6, а).

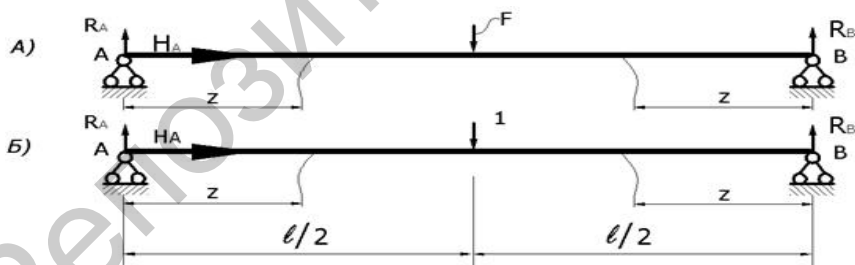


Рис. 8.6. Схема нагруженной испытательной системы

Составьте уравнения равновесия и определите реакции опор.

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0; H_A = 0; \\ \sum M_A &= 0; R_B = \frac{F}{2}; \\ \sum M_B &= 0; R_A = \frac{F}{2}.\end{aligned}\tag{8.5}$$

Запишите выражения изгибающих моментов для каждого участка балки:

$$\begin{aligned}M_1^I &= \frac{F}{2}Z; 0 \leq Z \leq \frac{l}{2}; \\ M_1^{II} &= \frac{F}{2}Z; 0 \leq Z \leq \frac{l}{2}.\end{aligned}\tag{8.6}$$

Эту же балку загрузите посередине пролета сосредоточенной единичной силой (рис. 8.6, б), составьте уравнения равновесия и определим реакции опор.

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0; H_A = 0; \\ \sum M_A &= 0; R_B = \frac{1}{2}; \\ \sum M_B &= 0; R_A = \frac{1}{2}.\end{aligned}\tag{8.7}$$

Запишите выражения единичных моментов для каждого участка:

$$\begin{aligned}M_1^I &= \frac{1}{2}Z; 0 \leq Z \leq \frac{l}{2}; \\ M_1^{II} &= \frac{1}{2}Z; 0 \leq Z \leq \frac{l}{2}.\end{aligned}\tag{8.8}$$

Подставьте выражения моментов в интеграл Мора:

$$\delta = \frac{1}{EJ_x} 2 \int_0^{\frac{l}{2}} \frac{F}{2}Z - \frac{1}{2}Z - dZ = \frac{Fl^3}{48EJ_x}.\tag{8.9}$$

5. Частота собственных колебаний

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{q}{\delta}}. \quad (8.10)$$

6. Частота вынужденных колебаний системы, при которой наступает резонанс,

$$\omega = \frac{\pi n}{30}, \quad (8.11)$$

где n – показание частотомера.

7. Сравните ω и ω_0 и убедитесь, что резонанс наступал при частоте вынужденных колебаний, примерно равных частоте собственных колебаний упругой системы.

8. Подсчитайте процент расхождения по формуле (8.12).

$$\Delta = \frac{\omega - \omega_0}{\omega} 100 \%. \quad (8.12)$$

8.4. Контрольные вопросы

1. Какая система называется упругой системой с одной степенью свободы?
2. Какие колебания называются собственными колебаниями?
3. Какие колебания называются вынужденными колебаниями?
4. По какой формуле определяется частота собственных колебаний?
5. По какой формуле определяется частота вынужденных колебаний?
6. Когда наступает резонанс?
7. Как визуально определить наступление резонанса?
8. Что произойдет, если уменьшить амплитуду колебаний балки, прижав ее рукой?
9. Что наблюдается при увеличении числа оборотов электромотора до максимума?
10. На каком принципе основана работа датчика импульсов (для частотомера)?
11. Что является датчиком импульсов?

8.5. Отчет

В отчет включается схема установки, необходимые данные для расчетов, результаты обработки испытаний заносятся в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Результаты обработки испытаний

m	F , Н	Jx , см ⁴	δ , см	ω_0 , 1/сек	n , б/сек	ω , 1/сек

Процент расхождения Δ _____

Выводы _____

Работу выполнил _____

Отчет принял _____

« _____ » _____ 20 ____ г.

Список литературы

1. Афанасьев, Л. М. Лабораторный практикум по сопротивлению материалов: [для втузов] / Л. М. Афанасьев, В. А. Марьин. – М.: Физматгиз, 1960. – 163 с.

2. Максак, В. И. Методические указания к лабораторным работам по сопротивлению материалов / В. И. Максак, В. И. Кучерюк.

3. Спиридонова, Н. И. Руководство к выполнению лабораторных работ по курсу «Сопротивление материалов» / Н. И. Спиридонова. – Ч. 2.

4. Феодосьев, В. И. Сопротивление материалов / В. И. Феодосьев. – М.: Наука, 1979. – 560 с.

Учебное издание

**ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА
ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

*Лабораторный практикум
для студентов специальности 1-36 02 01
«Машины и технология литейного производства»*

Составители:

КУКУЙ Давыд Михайлович
ОДИНОЧКО Виктор Фёдорович
НИКОЛАЙЧИК Юрий Александрович

Технический редактор *Д. А. Исаев*
Компьютерная верстка *Д. А. Исаева*

Подписано в печать 21.01.2014. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 4,82. Уч.-изд. л. 3,77. Тираж 100. Заказ 671.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.