



ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ

Инженерный институт

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Новосибирск 2020

Кафедра теоретической и прикладной механики

УДК
ББК

Составители: *С.А. Булгаков, И.В. Тихонкин*

Рецензент: канд. тех. наук, доцент *Е.А. Пшенов*

Сопротивление материалов: задания и метод. указания для выполнения лабораторных работ / Новосиб. гос. аграр. ун-т; Инженер. ин-т; сост. С.А. Булгаков, И.В. Тихонкин. – Новосибирск, 2020. – 48 с. изд. перераб. и доп.

Лабораторный практикум содержит: краткое теоретическое описание по изучаемым темам; перечень необходимого оборудования, приборов и инструментов; методику исследования и порядок выполнения лабораторных работ; основные требования по технике безопасности; задания и форму представления результатов, рекомендации по обработке результатов экспериментов, а также вопросы для самоконтроля по каждой теме. Содержание и структура лабораторных работ по дисциплине «Сопротивление материалов», а также отдельным темам и разделам дисциплин «Механика», «Прикладная механика» предусматривает возможность выполнения заданий в специализированной аудитории как индивидуально каждым студентом, так и в лаборатории под руководством преподавателя или сотрудника кафедры в составе звена из двух-трех человек.

Лабораторный практикум предназначен для студентов очной и заочной форм обучения всех направлений подготовки Инженерного института (Агроинженерия, Технология транспортных процессов, Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, Профессиональное обучение (по отраслям), при изучении и закреплении соответствующих тем дисциплин Сопротивление материалов, Механика и Прикладная механика.

Методическая разработка рекомендована студентам ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, обучающимся по инженерным направлениям подготовки, изучающим соответствующие разделы и темы дисциплин Механика, Прикладная механика, согласно утвержденным учебным планам и рабочим программам дисциплин.

Утверждена и рекомендована к изданию учебно-методическим советом Инженерного института (протокол от 29 сентября 2020 г. № 2)

© ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ
Инженерный институт, 2020

Содержание

1.	Требования по технике безопасности	4
2.	<i>Лабораторная работа № 1.</i> Определение центра тяжести плоской пластины.	5
3.	<i>Лабораторная работа № 2</i> Статическое испытание образца из малоуглеродистой стали на растяжение.	9
4.	<i>Лабораторная работа № 3.</i> Испытания материалов на сжатие	17
5.	<i>Лабораторная работа № 4.</i> Испытание металлических образцов на срез	22
6.	<i>Лабораторная работа № 5.</i> Кручение стержня круглого поперечного сечения в пределах упругих деформаций.	24
7.	<i>Лабораторная работа № 6</i> Определение осадки цилиндрической винтовой пружины	29
8.	<i>Лабораторная работа № 7</i> Определение перемещений при изгибе балки	31
9.	<i>Лабораторная работа № 8.</i> Определение ударной вязкости материала.	34
10.	<i>Лабораторная работа № 9.</i> Испытание проволоки.	39

ТРЕБОВАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Общие требования:

- во время нахождения в специализированных лабораториях соблюдать организованность и порядок, обеспечивающие личную безопасность и безопасность окружающих;
- запрещается самостоятельно (без преподавателя или учебного мастера) подходить к машинам и установкам, не используемым в данной лабораторной работе;
- категорически запрещается самовольное включение и выключение оборудования без преподавателя или учебного мастера;
- запрещается приступать к выполнению лабораторной работы без вводного инструктажа преподавателя;
- необходимо соблюдать осторожность при работе с измерительным инструментом;
- запрещается проводить ремонтные мероприятия, устранять неисправности электрооборудования и чистить машины и установки во время работы, или когда они находятся под напряжением;
- после завершения работы студенты обязаны собрать измерительные инструменты, методические пособия и сдать их учебному мастеру. В случае потери пособий, порчи инструментов или испытательных приборов студенты несут материальную ответственность за них.

2. Требования при работе на разрывных машинах и прессах:

- во время проведения испытаний необходимо находиться не ближе одного метра от испытательной машины;
- запрещается трогать части машины и образец, находящийся под нагрузкой, помещать руки в рабочую зону;
- съём образца после испытания производится под руководством преподавателя или учебного мастера только после остановки и полного выключения машины;
- при работе с обломками образцов (ввиду наличия на них острых кромок) необходимо соблюдать осторожность.

Лабораторная работа №1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ ПЛОСКОЙ ПЛАСТИНЫ

Цель работы: теоретическое и экспериментальное определение положения центра тяжести плоской пластины.

Краткие теоретические сведения

Центром тяжести твердого тела называется неизменно связанная с этим телом точка, через которую проходит линия действия равнодействующей сил тяжести, действующих на частицы данного тела при любом положении данного тела в пространстве

Координаты центра тяжести в общем случае определяются формулами

$$x_C = \frac{1}{P} \sum p_k x_k; \quad y_C = \frac{1}{P} \sum p_k y_k; \quad z_C = \frac{1}{P} \sum p_k z_k, \quad (1.1)$$

где x_k, y_k, z_k – координаты точек приложения сил тяжести p_k , действующих на частицы тела;

P – вес тела.

Для однородного тела вес p_k любой его части пропорционален объему v_k этой части, а вес P всего тела пропорционален объему V этого тела, т.е.

$$P = \gamma \cdot V,$$

где γ – вес единицы объёма.

Подставив эти значения P и p_k в формулы, заметим что во всех суммах γ как общий множитель выносится за скобки и сокращается с γ в знаменателе. В результате получим формулы, определяющие координаты точки C – центра тяжести объема:

$$x_C = \frac{1}{V} \sum v_k x_k; \quad y_C = \frac{1}{V} \sum v_k y_k; \quad z_C = \frac{1}{V} \sum v_k z_k \quad (1.2)$$

Путем аналогичных рассуждений легко найти, что если тело представляет собой однородную плоскую и тонкую пластину в плоскости XU , то для неё

$$x_C = \frac{1}{A} \sum A_k x_k; \quad y_C = \frac{1}{A} \sum A_k y_k, \quad (1.3)$$

где A – площадь всей пластины; A_k – площадь её частей.

Точно также получаются формулы для координат центра тяжести линии в пространстве:

$$x_C = \frac{1}{L} \sum l_k x_k; \quad y_C = \frac{1}{L} \sum l_k y_k; \quad z_C = \frac{1}{L} \sum l_k z_k, \quad (1.4)$$

где: L – длина всей линии; l_k – длина её частей.

По формулам можно находить центры тяжести изделий из тонкой проволоки постоянного сечения.

Таким образом, центр тяжести однородного тела определяется, как центр тяжести соответствующего объема, площади или линии.

Способы определения координат центров тяжести тел.

Исходя из полученных ранее формул, можно указать конкретные способы определения координат центров тяжести тел.

1. Симметрия. Если однородное тело имеет плоскость, ось или центр симметрии, то его центр тяжести лежит соответственно в плоскости симметрии, или на оси симметрии, или в центре симметрии.

Из свойств симметрии следует, что центр тяжести однородного круглого кольца, круглой или прямоугольной пластины, прямоугольного параллелепипеда, шара и других однородных тел, имеющих центр симметрии, лежит в геометрическом центре (центре симметрии) этих тел.

2. Разбиение. Если тело можно разбить на конечное число таких частей, для каждой из которых положение центра тяжести известно, то координаты центра тяжести всего тела можно непосредственно вычислить по ранее приведенным формулам. При этом число слагаемых в каждой из сумм будет равно числу частей, на которые разбито тело.

Для примера найдем координаты центра тяжести однородной пластины, изображенной на рисунке (см. рис. 1.1). Все размеры заданы в миллиметрах.

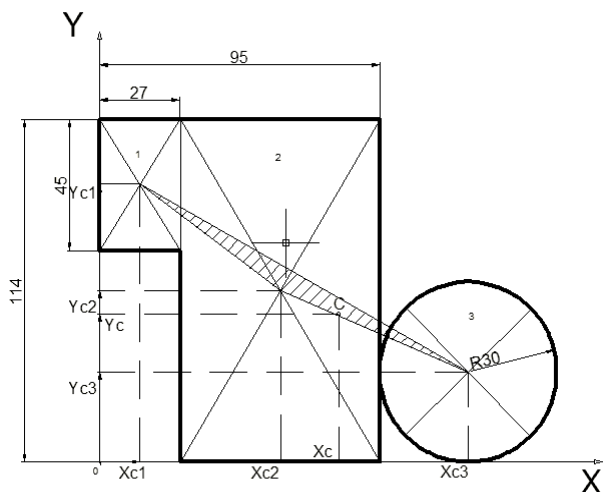


Рис. 1.1. Определение центра тяжести сложной фигуры

Проводим оси x и y и разбиваем пластину на два прямоугольника и круг.

Вычисляем площади и координаты центров тяжести каждой из фигур.

Таблица 1.1

№	Фигура	Координаты центра тяжести		Площадь, A_i
		x_{Ci}	y_{Ci}	
1	Прямоугольник	$x_{C1} = 13,5 \text{ мм}$	$y_{C1} = 91,5 \text{ мм}$	$A_1 = 45 \cdot 27 = 1215 \text{ мм}^2$
2	Прямоугольник	$x_{C2} = 61 \text{ мм}$	$y_{C2} = 57 \text{ мм}$	$A_2 = 114 \cdot 68 = 7752 \text{ мм}^2$
3	Круг	$x_{C3} = 125 \text{ мм}$	$y_{C3} = 30 \text{ мм}$	$A_3 = \pi \cdot 30^2 = 2827,43 \text{ мм}^2$

Площадь всей пластины

$$A = A_1 + A_2 + A_3 = 1215 + 7768 + 2827,43 = 11794,43 \text{ мм}^2.$$

Подставляем вычисленные величины в формулы (1.2), получаем:

$$x_C = \frac{x_{C1}A_1 + x_{C2}A_2 + x_{C3}A_3}{A} = \frac{31,5 \cdot 1215 + 61 \cdot 7752 + 125 \cdot 2827,43}{11794,43} = 73,3 \text{ мм},$$

$$y_C = \frac{y_{C1}A_1 + y_{C2}A_2 + y_{C3}A_3}{A} = \frac{91,5 \cdot 1215 + 57 \cdot 7752 + 30 \cdot 2827,43}{11794,43} = 54,08 \text{ мм}.$$

Найденное положение центра тяжести C показано на чертеже.

3. Дополнение. Этот способ является частным случаем способа разбиения. Он применяется к телам, имеющим вырезы, если центры тяжести тела без выреза и вырезанной части известны. В этом случае объем, площадь или длина вырезанных участков в формулах (1.1), (1.2) и (1.3) учитывается с отрицательным знаком.

4. Интегрирование. Если тело нельзя разбить на несколько конечных частей, положения центров тяжести которых известно, то тело разбивают сначала на произвольные малые объёмы Δv_k для которых формулы принимают вид

$$x_C = \frac{1}{V} \sum \Delta v_k x_k \quad \text{и т.д.}, \quad (1.5)$$

где x_k, y_k, z_k – координаты некоторой точки, лежащей внутри объёма Δv_k .

Затем в равенствах переходят к пределу, устремляя все Δv_k к нулю, т.е. стягивая эти объёмы в точки. Тогда стоящие в равенствах суммы обращаются в интегралы, распространенные на весь объем тела и формулы дают в пределе

$$x_C = \frac{1}{V} \int_{(V)} x dv, \quad y_C = \frac{1}{V} \int_{(V)} y dv, \quad z_C = \frac{1}{V} \int_{(V)} z dv. \quad (1.6)$$

Аналогично для координат центров тяжести площадей и линий.

5. Экспериментальный способ. Центры тяжести неоднородных тел сложной конфигурации можно определять экспериментально. Один из возможных экспериментальных методов (метод подвешивания) состоит в том,

что тело подвешивают на нити или на тросе за различные его точки. Направление нити, на которой подвешено тело, будет каждый раз давать направление силы тяжести. Точка пересечения этих направлений определяет центр тяжести тела.

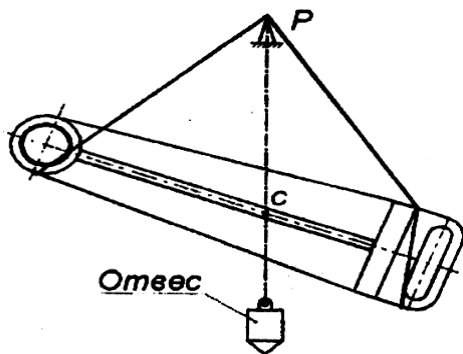


Рис.1.2. Подвешивание детали на двух нитях

Другим возможным способом является уравнивание на призме.

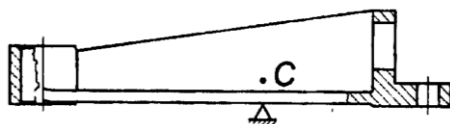


Рис.1.3. Уравнивание детали на призме

Оборудование, приборы и материалы: штатив, плоские пластины произвольной формы, точечная опора, измерительный инструмент.

Порядок проведения работы

Первая часть работы – теоретическая, необходимо определить положение центра тяжести плоской фигуры.

Для этого:

1. Пластину необходимо обвести карандашом, разбить на простые составляющие (прямоугольники, круги, треугольники и т.п.), выбрать систему координат.
2. Определить площади и координаты центров тяжести каждой из простых составляющих. Результаты занести в таблицу 2.

Таблица 2.1

№	Фигура	Координаты центра тяжести		Площадь, A_i
		x_{Ci}	y_{Ci}	

3. Рассчитать по формулам (1.2) координаты центра тяжести всей пластины.

Вторая часть работы – экспериментальная, с помощью метода подвешивания и с помощью точечной опоры (призмы), необходимо проверить правильность теоретических расчетов.

Для этого:

1. Пластину подвешивают на нити за различные её точки. Направление нити, на которой подвешена пластина, будет каждый раз давать направление силы тяжести. Точка пресечения этих направлений определяет центр тяжести.
2. Пластину устанавливают на призму в точке – центре тяжести. Если пластина остается в равновесии, центр тяжести определен верно.

Вопросы и задания для самоподготовки

1. Что такое центр тяжести твердого тела.
2. Какие существуют способы определения координат центра тяжести твердых тел?
3. В чем заключается экспериментальное определение центра тяжести твердого тела?
4. Как учитывается при аналитическом определении центра тяжести наличие отверстий?

Лабораторная работа №2

СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ НА РАСТЯЖЕНИЕ ОБРАЗЦА ИЗ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Цель работы:

- изучение поведения пластичного материала при растяжении до разрушения;
- определение значения основных характеристик прочности и пластичности материала.

Краткие теоретические сведения

Испытание на растяжение при одноосном напряженном состоянии, при котором нагрузка равномерно распределена по всему сечению образца, дает возможность получить ряд важных механических характеристик материала, позволяющих судить о его прочности и пластичности.

Поэтому наиболее распространенным видом испытаний материалов является испытание на растяжение статической нагрузкой. Так как результаты испытаний зависят от формы образца, скорости его деформирования, температуры при испытании и т.д., то эксперименты должны проводиться в условиях, предусмотренных ГОСТ 1497–84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение». Для испытания на растяжение изготавливают образцы. Применяются как цилиндрические образцы диаметром 3 мм и более, так и плоские (обычно для испытаний листовых материалов) толщиной 0,5 мм и более. На рис. 2.1,а приведен эскиз цилиндрического образца, на рис 2.1,б – плоского.

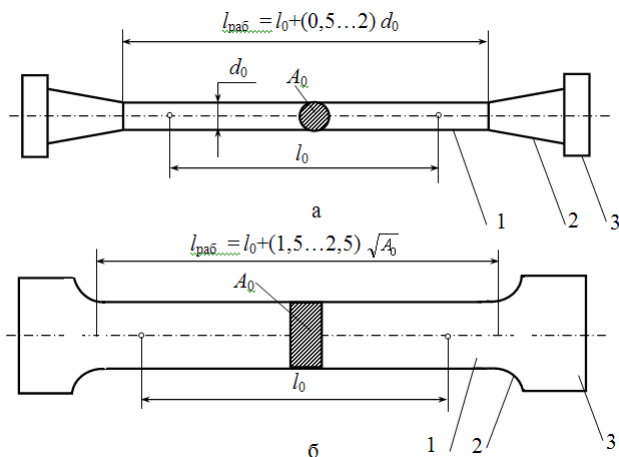


Рис. 2.1. Цилиндрический (а) и плоский (б) образцы

Образцы состоят из рабочего участка 1, переходных 2 и головок 3, предназначенных для закрепления в захватах разрывной машины (их форма зависит от типа машины). Переходные участки 2 служат для уменьшения концентрации напряжений. На рабочем участке выделяется рисками или кернением отрезок l_0 , называемый начальной расчетной длиной образца.

Начальная расчетная длина составляет:

$l_0 = 5,65\sqrt{A_0}$ – для коротких образцов (с малой и средней пластичностью); $l_0 = 11,3\sqrt{A_0}$ – для длинных (с высокой пластичностью),

где A_0 – начальная площадь поперечного сечения образца, мм^2 .

При испытании цилиндрических образцов в качестве основных применяют образцы диаметром $d_0 = 10$ мм.

Испытания проводят на специальных разрывных машинах. В процессе статического растяжения образца самописец машины фиксирует диаграмму зависимости нагрузки от удлинения.

На рис.2.2 приведен типичный вид диаграммы растяжения образца из малоуглеродистой стали.

Данная диаграмма типична для большинства пластичных материалов, и на ней можно выделить ряд характерных участков и точек. На участке ОА сила, растягивающая образец, прямо пропорциональна его удлинению, т.е. соблюдается закон Гука:

$$F = EA_0 \frac{\Delta l}{l} \quad (2.1)$$

где E – коэффициент пропорциональности, зависящий от свойств испытуемого материала, называемый **модулем упругости** первого рода, модулем

продольной упругости, или **модулем Юнга**. Эта величина для малоуглеродистой стали равна $2,1 \cdot 10^5$ МПа.

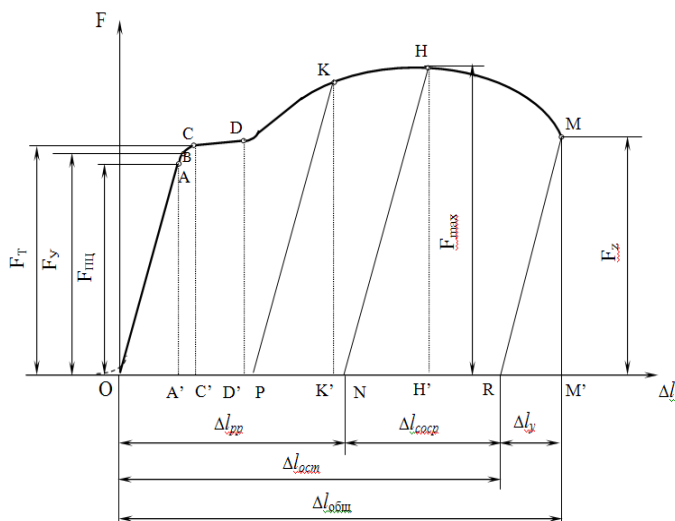


Рис.2.2. Диаграмма растяжения образца из малоуглеродистой стали

Данная диаграмма типична для большинства пластичных материалов, и на ней можно выделить ряд характерных участков и точек. На участке *OA* сила, растягивающая образец, прямо пропорциональна его удлинению, т.е. соблюдается закон Гука:

$$F = EA_0 \frac{\Delta l}{l} \quad (2.1)$$

где E – коэффициент пропорциональности, зависящий от свойств испытуемого материала, называемый *модулем упругости* первого рода, модулем продольной упругости, или *модулем Юнга*. Эта величина для малоуглеродистой стали равна $2,1 \cdot 10^5$ МПа.

О прочности судят по величине напряжений в сечении.

Наибольшее напряжение, до которого выполняется закон Гука, называется *пределом пропорциональности*.

Ему соответствует точка A на диаграмме.

Наибольшая нагрузка $F_{\text{нц}}$, до которой соблюдается закон Гука, называется *нагрузкой предела пропорциональности*.

На реальной диаграмме растяжения вблизи точки O имеется небольшой криволинейный участок (на рис. 2.2 показан пунктирной линией). Появление

этого участка связано с выборкой зазоров в силовых и измерительных устройствах разрывной машины.

При дальнейшем увеличении нагрузки диаграмма становится криволинейной, а образец наряду с *упругой деформацией*, которая исчезает после снятия нагрузки, получает необратимую *пластическую деформацию*, сохраняющуюся при разгрузке образца.

Внутреннее напряжение, при превышении которого в образце появляется остаточная пластическая деформация в размере 0,05% от первоначальной длины, называют пределом упругости.

Данное состояние материала соответствует точке В на диаграмме. Растягивающую силу F_y (ордината точки В на диаграмме) принято называть *нагрузкой предела упругости*. Так как начало появления остаточных деформаций заметить очень сложно, для определения предела упругости требуется многократное нагружение и разгрузке образца.

Это требует большого времени на проведение испытаний, вследствие чего в данной работе предел упругости не определяется.

При дальнейшем деформировании образца у ряда материалов, таких как мягкая сталь, наблюдается рост удлинения без заметного увеличения нагрузки. Это явление называется текучестью. Соответствующий участок диаграммы CD (почти горизонтальная линия) называется *площадкой текучести*, а нагрузка F_m , при которой начинается течение материала, называется *нагрузкой предела текучести*.

Внутреннее напряжение, при котором материал удлиняется без заметного увеличения нагрузки, называется пределом текучести.

Если поверхность образца предварительно отполирована, то при наступлении текучести поверхность образца тускнеет и становится матовой. При более тщательном рассмотрении (под микроскопом) на поверхности можно заметить появление линий сдвига, наклоненных к оси образца под углом примерно 45° (рис. 2.3).

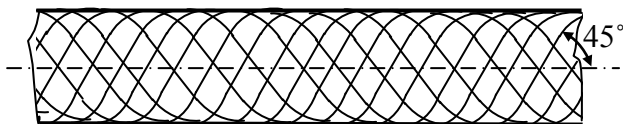


Рис. 2.3. Линии сдвига на поверхности образца

Это так называемые линии Людерса–Чернова, появление которых свидетельствует о происходящих сдвигах кристаллов материала. Сдвиги происходят по дефектам кристаллической решетки. Направления указанных линий соответствуют площадкам, на которых при растяжении образца возникают наибольшие касательные напряжения.

Ряд материалов (легированные высокопрочные стали, сплавы цветных металлов, чугун и др.) не имеют явно выраженной текучести. Диаграмма растяжения таких материалов плавно переходит с упругой части на часть, где получаются большие остаточные деформации. Для таких материалов определяют **условный предел текучести** при достижении остаточного относительного удлинения величиной 0,2%.

По окончании стадии текучести материал вновь начинает сопротивляться деформации, здесь связь между силой и удлинением не линейна: большее удлинение вызывает меньший рост нагрузки. Этот участок диаграммы DH называется **зоной упрочнения**. Если предварительно нагруженный образец разгрузить в некоторой точке K этой зоны, то разгрузке пойдет не обратно по кривой $KDCBAO$, а по прямой KP , параллельной прямой OA . Деформация, полученная на этапе нагружения, полностью не исчезает. Она лишь уменьшается на величину **упругой деформации**, которой соответствует отрезок $K'P$ на оси абсцисс. Отрезок OP будет соответствовать величине **остаточной пластической деформации** образца.

Если снова начать нагружать образец, то нагружение пойдет сначала по прямой PK , а затем по кривой KHM . Явление текучести проявится повторно уже не будет. А так как ордината точки K больше ординаты точки A , то предел пропорциональности, предел упругости и максимальная упругая деформация станут больше своих первоначальных значений.

В этом и состоит суть явления упрочнения, **наклепа**, или **нагартовки**, т.е. повышения упругих свойств материала в результате предварительного пластического деформирования. Наклеп обычно возникает при механической обработке изделия как результат пластического деформирования в холодном виде и широко применяется в технике, например, холоднокатаная сталь имеет более высокие прочностные свойства, чем горячекатаная. При нежелательности нагартовки ее можно снять отжигом.

После того как нагрузка достигнет значения F_{max} (точка H на диаграмме), на образце появляется местное утоньшение – шейка. Прогрессивным уменьшением сечения вызывается снижение нагрузки, и разрыв образца (точка M на диаграмме) происходит при силе F_z , меньшей F_{max} . Зона HM называется **зоной местной текучести**, а наибольшая нагрузка F_{max} , которую образец выдерживает до разрушения, называется **нагрузкой предела прочности при растяжении**.

Следует заметить, что истинное напряжение, соотнесенное с текущей площадью образца, продолжает непрерывно расти, достигая своего максимального значения в момент разрыва.

Пределом прочности называется условное внутреннее напряжение, соответствующее максимальной нагрузке, которую выдерживает образец до разрушения.

Расчет ведется из предположения неизменности площади поперечного сечения образца, хотя на самом деле она уже значительно (нередко более чем на 20%) уменьшается в момент достижения максимальной силы (точка H на диаграмме).

Примечание: в определении пределов пропорциональности и текучести не подчеркивалось, что это условные напряжения, т.е. отнесенные к первоначальной площади сечения образца. Это связано с тем, что до начала образования шейки площадь сечения образца почти не отличается от первоначальной. При максимальной нагрузке F_{max} это различие весьма существенно, что и отражено в понятии «предел прочности».

Полная деформация образца $\Delta l_{общ}$ (упругая и остаточная) в момент разрыва соответствует величине отрезка OM' . Если из точки M диаграммы растяжения провести прямую, параллельную прямолинейному участку OA , до пересечения с осью абсцисс, то отрезок OR , будет соответствовать остаточному удлинению образца в момент разрыва $\Delta l_{ост}$, которое и измеряется на образце после испытаний, а отрезок RM' – упругому удлинению образца в момент разрыва Δl_y , которое исчезает в момент разрыва, так как сила после разрыва образца становится равной нулю.

До тех пор, пока нагрузка не достигает максимального значения F_{max} , деформация равномерно распределяется по всему образцу. На диаграмме растяжения величине равномерно распределенной деформации Δl_{pp} соответствует отрезок ON . После образования шейки дальнейшее удлинение образца происходит, главным образом, по длине шейки, остальная же часть образца практически не удлиняется. То есть деформация приобретает местный, сосредоточенный характер. На диаграмме растяжения сосредоточенной деформации $\Delta l_{соср}$ соответствует отрезок NR .

Оборудование, приборы и материалы: разрывная машина ; штангенциркуль; образцы из малоуглеродистой стали.

Методика проведения испытаний

Перед испытанием с точностью до 0,1 мм замеряются начальные диаметр d_0 и расчетная длина l_0 (расстояние между рисками или кернениями) рабочего участка образца (см. рис. 2.1). Результаты измерений заносятся в таблицу 2.1 протокола испытаний.

После измерений образец устанавливается в захваты разрывной машины и подвергается растяжению до разрыва. Во время деформации образца по шкале силоизмерительного устройства фиксируется максимальная нагрузка F_{max} . После разрушения образца его половинки стыкуются по месту разрыва и замеряются: измененная расчетная длина l_k (расстояние между рисками или кернениями); наименьший диаметр d_k шейки в месте разрыва. Результаты измерений заносятся в таблицу 1.1 протокола испытаний. Сюда же заносятся результаты расчета площади сечения A_0 образца до испытаний и минимальной площади сечения A_k шейки в месте разрыва.

Обработка результатов испытаний

В результате обработки результатов испытаний с использованием диаграммы растяжения могут быть получены характеристики прочности и пластичности материала образца.

Определение характеристик прочности

Перед определением характеристик прочности необходимо определить масштаб нагрузки μ_F диаграммы растяжения.

Масштаб нагрузки μ_F , Н/мм определится из выражения

$$\mu_F = F_{max} / HH',$$

где F_{max} – нагрузка, соответствующая пределу прочности (максимальная нагрузка) (точка E , см. рис. 2.2);

HH' – отрезок на диаграмме растяжения, мм.

Зная масштаб нагрузки, можно определить ее значение в любой точке диаграммы растяжения.

Нагрузка, соответствующая пределу пропорциональности F_{nc} , (точка A , см. рис. 2.2) будет равна

$$F_{nc} = AA' \cdot \mu_F,$$

Предел пропорциональности: $\sigma_{nc} = F_{nc} / A_0$.

Нагрузка, соответствующая пределу текучести F_m , (точка C , см. рис. 2.2)

$$F_m = CC' \cdot \mu_F,$$

Предел текучести: $\sigma_T = F_T / A_0$.

Предел прочности (временное сопротивление) $\sigma_b = F_{max} / A_0$.

Нагрузка в момент разрыва материала F_z (точка M , см. рис. 2.2)

$$F_z = MM' \cdot \mu_F,$$

истинное сопротивление разрыву

$$\sigma_z = F_z / A_k.$$

Аналогичным образом рассчитываются нагрузка и напряжение в сечении образца для любой точки диаграммы.

Полученные в результате расчетов значения нагрузок и напряжений следует занести в таблицу 2.2 протокола испытаний.

Определение характеристик пластичности

Пластичность материала оценивается деформацией образца при приложении нагрузки.

Перед определением характеристик пластичности необходимо определить абсолютное остаточное удлинение $\Delta l_{ост}$, мм и масштаб деформации μ_l , мм/мм диаграммы растяжения.

Абсолютным остаточным удлинением $\Delta l_{ост}$ называется разность между длиной образца после испытаний l_k и до испытаний l_0

$$\Delta l_{ост} = l_k - l_0.$$

Масштаб деформации μ_l определится из выражения

$$\mu_l = \Delta l_{ост} / OR,$$

где OR – отрезок по оси абсцисс, мм (см. рис. 2.2).

Как отмечалось выше, до достижения максимальной нагрузки F_{max} (точка H см. рис.2.2) деформация равномерно распределяется по всему образцу, а после образования шейки дальнейшее удлинение образца происходит, главным образом, по длине шейки, остальная же часть образца практически не удлиняется, т.е. деформация приобретает местный, сосредоточенный характер.

Величина **равномерно распределенной деформации** Δl_{pp} , мм определится из выражения

$$\Delta l_{pp} = NO \cdot \mu_b$$

где NO – отрезок по оси абсцисс, мм (см. рис.2.2.).

Величина **сосредоточенной деформации** $\Delta l_{соср}$, мм определится из выражения

$$\Delta l_{соср} = NR \cdot \mu_b$$

где NR – отрезок по оси абсцисс, мм (см. рис.2.2.).

Относительным удлинением ε называется отношение приращения длины образца после разрыва к его первоначальной расчетной длине, выраженное в процентах,

$$\varepsilon = (l_k - l_0) 100 / l_0.$$

Относительным сужением после разрыва ψ называется отношение наибольшего уменьшения поперечного сечения образца после разрыва к первоначальной площади его поперечного сечения, выраженное в процентах,

$$\psi = (A_0 - A_k) 100 / A_0.$$

Полученные в результате расчетов значения характеристик пластичности следует занести в таблицу 2.3 протокола испытаний.

Протокол испытаний

Таблица 2.1

Размеры	До испытаний	После испытаний
Диаметр образца, мм	$d_0 =$	(шейки) $d_k =$
Площадь поперечного сечения, мм ²	$A_0 =$	(шейки) $A_k =$
Расчетная длина образца, мм	$l_0 =$	$l_k =$

Таблица 2.2

Нагрузка, соответствующая пределу пропорциональности, $F_{тр}$, Н	Предел пропорциональности $\sigma_{пб}$, МПа	Нагрузка, соответствующая пределу текучести, F_m , Н	Предел текучести σ_t , МПа	Максимальная нагрузка F_{max} , Н	Предел прочности (временное сопротивление разрыву) σ_b , МПа	Нагрузка в момент разрыва	Истинное напряжение в момент разрыва σ_z , МПа

Таблица 2.3

Абсолютное удлинение Δl , мм	Относительное удлинение ε , %	Сосредоточенная деформация $\Delta l_{\text{соср}}$, мм	Равномерно распределенная деформация Δl_{pp} , мм	Относительное сужение ψ , %

Соотнеся полученные в результате проведения испытаний образца значения механических характеристик с аналогичными характеристиками по ГОСТ 380–94 «Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки» определить марку стали (*Приложение 1*).

Вопросы для самоподготовки

1. Что такое предел пропорциональности?
2. Дайте определение предела упругости.
3. Как отображаются на диаграмме растяжения все стадии деформации?
4. Какая деформация называется упругой, а какая остаточной?
5. Как определить для точки, заданной на диаграмме растяжения, величину упругой и остаточной деформации образца?
6. Какое явление называется текучестью, у каких материалов оно проявляется и чем характеризуется?
7. Что такое предел текучести?
8. Какие характерные точки можно указать на диаграмме растяжения?
9. Что такое предел прочности?
10. Перечислить характеристики пластичности и привести их определения.

Лабораторная работа № 3

ИСПЫТАНИЕ МАТЕРИАЛОВ НА СЖАТИЕ

Цель работы:

- ознакомление с методикой проведения испытания на сжатие.
- изучение поведения различных материалов при сжатии.
- определение механических характеристик пластичных и хрупких материалов при сжатии.

Краткие теоретические сведения

Испытание на сжатие проводятся реже чем на растяжение, т.к. при сжатии нельзя получить все механические характеристики материалов. Так пластичный материал при сжатии не разрушается, а превращается в диск, что не позволяет определить напряжение, соответствующее разрушающей силе. Также нельзя определить параметры, аналогичные характеристикам пластичности. Поэтому испытанию на сжатие подвергают в основном хрупкие материалы.

Испытание на сжатие проводятся по следующим стандартам: для стали и чугуна - ГОСТ 25.503-80, бетона - ГОСТ 10.180-90, древесины - ГОСТ 16483.10-73 (вдоль волокон) и ГОСТ 16483.11-72 (поперек волокон). Испытание на сжатие проводят на универсальных испытательных машинах (например, УММ-5 или УММ-50) или специальных прессах.

Образцы материалов изготавливаются в виде цилиндров с соотношением размеров $h = (1 \div 2) d$ (например, для чугуна $d=10 \div 25$ мм) или кубиков со стороной 20 мм и более. Образец закладывается между плитами испытательной машины и постепенно нагружается непрерывно возрастающей нагрузкой. При этом на диаграммном барабане машины вычерчивается диаграмма сжатия (рисунок 1).

Для *пластичного материала* (углеродистой стали) диаграмма сжатия (рисунок 1, кривая 1) до предела текучести совпадает с диаграммой растяжения, однако ярко выраженной площадки текучести не наблюдается. После прохождения стадии текучести происходит быстрое возрастание деформаций, а увеличивающееся поперечное сечение образца становится способным выдержать все большую нагрузку. Образец принимает бочкообразную форму из-за наличия сил трения на торцах (рисунок 2,а) и может быть сплюснен в тонкую пластинку без признаков разрушения, иногда даже без образования трещин. Поэтому в процессе испытания обычно определяют только предел пропорциональности

$$\sigma_{пц} = F_{пц} / A_0 \quad (3.1)$$

Для пластичных материалов модуль упругости E , предел упругости σ_y и предел текучести σ_m при сжатии примерно те же, что и при растяжении. Предел прочности при сжатии нельзя определить практически, т.к. образец не разрушается, поэтому его принимают равным пределу прочности при растяжении. Характеристики, аналогичные относительному удлинению и относительному сужению при разрыве, при испытании на сжатие также получить невозможно.

Если первоначально растянуть пластичный материал за предел текучести, а потом, разгрузив сжать его, то наблюдается понижение величины предела текучести. Такое явление, называемое *эффектом Баушингера*, связано с анизотропным упрочнением материала, т.е. упрочнением, зависящим от направления нагружения.

Хрупкие материалы (чугун, бетон, кирпич и др.) лучше сопротивляются сжатию, чем растяжению и поэтому они применяются для изготовления материалов, работающих на сжатие. Поэтому для их расчета на прочность необходимо знать механические характеристики, получаемые при испытании на сжатие.

Для чугуна на диаграмме сжатия (рисунок 1, кривая 2) почти отсутствует прямолинейный участок, т.е. закон Гука выполняется лишь приближенно в начальной стадии нагружения. Разрушение происходит внезапно при макси-

мальной нагрузке F_{max} с появлением ряда наклонных трещин, расположенных приблизительно под углом 45° к образующим боковой поверхности образца, т.е. по линиям действия максимальных касательных напряжений (рисунок 2,б). Предел прочности при сжатии определяется по зависимости

$$\sigma_с = F_{max} / A_0 \quad (3.2)$$

Предел прочности чугуна на сжатие превышает предел прочности на растяжение в 4-5 раз и предел прочности на изгиб в 2 раза.

Следует заметить, что характер деформации и разрушения образца зависят от сил трения между торцами образца и опорными плитами испытательной машины. Путем периодической парафинной или графитовой смазки торцов можно устранить силы трения; при этом чугунный образец в течении всего испытания остается цилиндрическим и разрушается по плоскостям, параллельным диаметральной плоскости из-за недопустимо больших растягивающих деформаций.

При сжатии бетона (цементного раствора, камня), как видно по диаграмме (рисунок 3.1, линия 3), рост нагрузки сопровождается упругими деформациями вплоть до разрушения, что вообще свойственно для хрупких материалов. Характер разрушения образцов из бетона зависит от наличия сил трения между плитами машины и торцами образца. При их наличии, т.е., когда образец без смазки, разрушение происходит путем выкрашивания материала у боковых поверхностей в средней части образца, а трещины образуются под углом 45° к линии действия нагрузки (рисунок 3.2,в). При сжатии образца со смазанными торцами разрушение имеет вид продольных трещин, т.е. материал расслаивается по линиям, параллельным действию сжимающей силы (рисунок 3.2, г).

Сравнение механических характеристик бетона показывает, что предел прочности при сжатии в 10-20 раз превышает предел прочности при растяжении.

При испытании на сжатие образцов из дерева, имеющего волокнистую структуру, ярко проявляются его анизотропные свойства. Так при сжатии дерева вдоль волокон (рисунок 3.1, кривая 4) образец претерпевает небольшие остаточные деформации, могут образовываться поперечные складки и продольные трещины, а разрушение возникает вследствие сдвига одной части образца относительно другой (рисунок 3.2, д). При сжатии поперек волокон после достижения некоторой нагрузки (рисунок 3.1, кривая 5) кубик продолжает деформироваться почти без увеличения сжимающей силы, подвергается прессованию (рисунок 3.2, е) и не всегда можно точно определить нагрузку соответствующую началу разрушения. Поэтому предел прочности условно определяют при нагрузке, когда образец сжимается на одну треть от своей первоначальной высоты. Так для сухой древесины (с влажностью равной 15% при температуре 20°C) предел прочности на сжатие вдоль и поперек волокон

отличается в 8-10 раз. Предел прочности на растяжение больше предела прочности на сжатие примерно в 2 раза.

При расчете конструкций необходимо учитывать особенности сопротивления растяжению и сжатию пластичных и хрупких материалов.

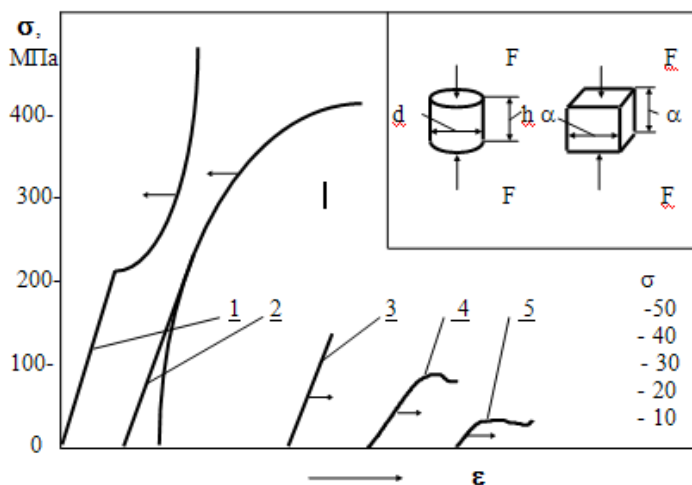


Рис.3.1. Диаграмма сжатия различных материалов

1 - малоуглеродистая сталь; 2 - чугун; 3 - бетон;
4,5 - дерево вдоль и поперек волокон соответственно

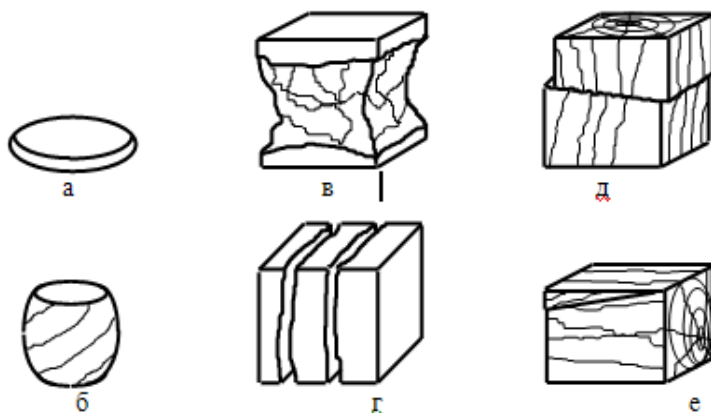


Рис.3.2. Характер разрушения различных материалов при сжатии

а - малоуглеродистая сталь; б - чугун; в, г - бетон без и со смазкой торцов;
д, е - дерево вдоль и поперек волокон соответственно

Порядок проведения и обработка результатов испытания

2.1. Произвести измерение линейных параметров предложенных для испытания образцов (диаметра, высоты, стороны кубика). Записать их в журнал испытаний.

2.2. Установить поочередно образцы между опорными плитами испытательной машины, подвергнуть нагружению сжимающей силой и довести до разрушения, производя запись диаграммы и зафиксировав по шкале силоизмерителя максимальную нагрузку для каждого образца.

2.3. Скорректировать максимальные нагрузки с их величинами по диаграммам сжатия. Определить пределы прочности материалов (σ для стали и предел текучести) и записать их в журнал испытаний. Зарисовать диаграммы напряжений при сжатии испытанных образцов.

2.4. Зарисовать вид образцов после испытания и описать характер их разрушения. Сделать выводы.

Журнал испытаний

Сведения об испытательной машине:

Марка машины.....

Предельное усилие.....

Цена деления шкалы

Таблица 1 Результаты испытания материалов на сжатие

Наименование материалов	Размеры образцов, мм			Площадь сечения, м^2	Максимальная нагрузка, Н	Предел прочности, МПа
	d	h	a			
Сталь						
Чугун						
Бетон без смазки торцов						
Бетон со смазкой торцов						
Дерево вдоль волокон						
Дерево поперек волокон						



Рис.3. Диаграмма напряжений различных материалов при сжатии

Таблица 2 Вид образцов после испытания на сжатие

Сталь	Чугун	Бетон		Дерево	
		без смазки торцов	со смазкой торцов	вдоль волокон	поперек волокон

Выводы:

Контрольные вопросы

1. Какой вид имеет диаграмма сжатия стали и в чем ее отличие от диаграммы растяжения? В чем суть эффекта Баушингера?
2. Какой вид имеют диаграммы сжатия чугуна и бетона? Назовите характерные особенности разрушения образцов из этих материалов.
3. Какой вид имеет диаграмма сжатия дерева вдоль и поперек волокон? Как дерево разрушается при сжатии и в каком направлении обладает лучшими механическими свойствами?
4. Какие механические характеристики материала можно определить при испытании на сжатие стали, чугуна, бетона и дерева? Как эти характеристики соотносятся с характеристиками, полученными при испытании на растяжение?
5. Почему образцы из малоуглеродистой стали и чугуна при сжатии приобретают бочкообразную форму? Почему это не возникает при сжатии бетонных и деревянных образцов?
6. Как на практике использовать результаты, полученные при испытании указанных материалов на сжатие?

Лабораторная работа №4

ИСПЫТАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ НА СРЕЗ

Цель работы: ознакомить с методом испытания на срез и определить предел прочности материала на срез.

Краткие теоретические сведения:

Между пределом прочности материала на растяжение $\sigma_{\text{вр}}$ и пределом прочности на срез $\tau_{\text{ср}}$ существует довольно устойчивое соотношение (например, для сталей $\tau_{\text{ср}} = (0,6 - 0,8) \sigma_{\text{вр}}$). Прочность при срезе зависит не только от сопротивления материала сдвигу, но и от тех дополнительных напряжений, которые неизбежно возникают при срезе от изгиба и смятия.

Величина предела прочности при срезе имеет практическую ценность только в том случае, если нагружение образца будет близко к условиям рабо-

ты детали на срез в реальных конструкциях. На практике часто встречаются детали, работающие на срез одновременно по двум плоскостям (двойной срез, болты, заклепки, штифты), поэтому испытания на срез чаще всего производят при помощи специального приспособления.

Формы и размеры образцов

Для испытания на срез применяются образцы круглого поперечного сечения, диаметром от 6 до 10 мм. На рис. 4 показано в разрезе специальное приспособление для проведения испытания на машине Р-5, а на рис. 4 такое же приспособление для машины ИМ-4Р

Образец 1 вставляется в кольца 2 и 3, изготовленные из твердой закаленной стали. Приспособления устанавливаются в захваты машины и при перемещении одного из захватов машины кольца производят перерезание образца по двум плоскостям.

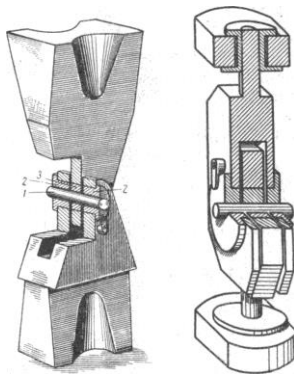


Рис. 4. Приспособление к разрывной машине типа Р-5 и ИМ-4Р для испытания на срез: 1 – образец; 2 – захват нижний; 3 – захват верхний

Испытательные машины

Так как при испытании на срез образцов диаметром 6–10 мм требуются усилия не более 5 т, то для проведения этого испытания можно использовать машины типа Р-5, ИМ-4Р, УМ-5 и др. Конструкция приспособлений для среза должна быть согласована с устройством захватов той или иной испытательной машины.

Порядок проведения испытания

Обучающиеся знакомятся с устройством машины и приспособления для среза.

В журнал для наблюдений записывают:

1. Тип испытательной машины и цену деления силоизмерительного устройства.
2. При помощи штангенциркуля измеряют диаметр образца.
3. Образец вставляют в кольца приспособления для среза и устанавливают приспособление в захваты испытательной машины.

4. Включают электродвигатель и наблюдают по шкале силоизмерительного устройства за возрастанием нагрузки. Фиксируют наибольшую нагрузку, разрушившую образец.

5. Вычисляют предел прочности при срезе:

$$\tau_{cp} = F / A_0$$

где F – разрушающая нагрузка, в кГ;

A_0 – площадь поперечного сечения образца, в мм², до его испытания.

На рис. 4.1 представлены 3 части образца после среза. На деформированных частях образца заметны следы смятия и незначительного изгиба.



Рис. 4.1 Части образца после среза

6. Полученный предел прочности при срезе τ_{ac} следует сравнить с пределом прочности при растяжении $\sigma_{вр}$. Для сравнения этих величин предел прочности на растяжение можно взять из работы № 2 (испытание на растяжение) в том случае, если образцы для этих работ были изготовлены из одинакового материала.

Составление отчета

Отчет о проделанной работе должен содержать:

1. Эскиз образца с размерами и схема его нагружения при испытании.
2. Вычисление предела прочности на срез.
3. Сравнение предела прочности на срез и предела прочности на растяжение.

Лабораторная работа №5

КРУЧЕНИЕ СТЕРЖНЯ КРУГЛОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ В ПРЕДЕЛАХ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ

Цель работы:

– подтверждение закона Гука и определение модуля сдвига стали.

Краткие теоретические сведения

При кручении стержня с круглым или кольцевым поперечным сечением в точках стержня возникает плоское напряженное состояние – чистый сдвиг. Для точек, выделенных у поверхности стержня, расположение площадок с главными напряжениями σ_1 и σ_3 и площадок, на которых возникают максимальные касательные напряжения τ_{max} , показано на рис. 5.1. Максимальные касательные напряжения действуют в поперечных и продольных сечениях стержня, где нормальные напряжения отсутствуют.

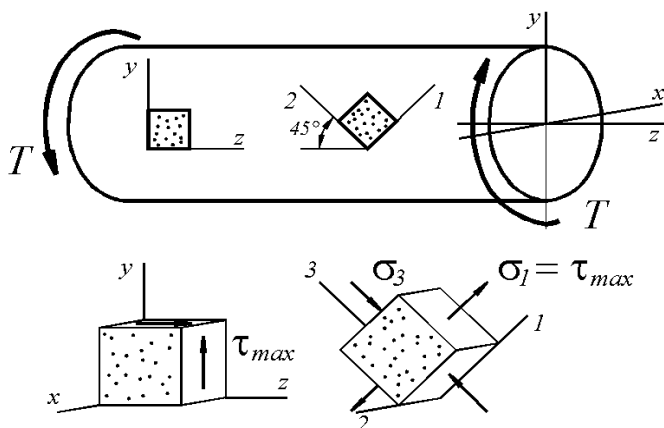


Рис.5.1. Напряженное состояние в точках поверхностного слоя при кручении

Экспериментально установлено, что для большинства материалов в случае чистого сдвига угловая деформация в точке прямо пропорциональна касательному напряжению. В рассматриваемом случае (рис. 5.2)

$$\gamma_{zy} = \frac{\tau_{zy}}{G} \quad (5.1)$$

Это положение называется **законом Гука** для чистого сдвига. Величина G является постоянной, не зависящей от напряжений и деформаций характеристикой жесткости материала. Она называется **модулем упругости второго рода, или модулем сдвига**. Так же, как и модуль упругости первого рода E , модуль сдвига имеет размерность (МПа, ГПа) и зависит от свойств материала.

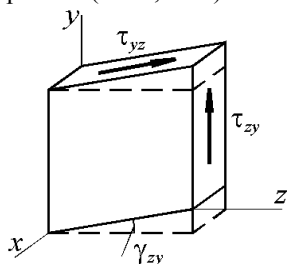


Рис.5.2. Деформированное состояние при чистом сдвиге

Как и в случае линейного напряженного состояния, закон Гука при сдвиге является приближенным законом, имеющим достаточную для практики степень точности.

Наибольшее касательное напряжение, до которого справедлив закон Гука при чистом сдвиге, называется **пределом пропорциональности при сдвиге** – $\tau_{пц}$.

Модуль сдвига G наряду с модулем продольной упругости E и коэффициентом поперечной деформации μ носит название упругой постоянной материала и для изотропного материала связан с ними зависимостью

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \quad (5.2)$$

Экспериментально модуль сдвига можно определить в результате испытаний образцов на кручение. Интегральная форма закона Гука при кручении принимает следующий вид:

$$\varphi = \frac{T_k l}{GI_p} \quad (5.3)$$

где φ – угол закручивания; T_k – крутящий момент;

l – расстояние между сечениями, взаимный поворот которых характеризует угол закручивания; I_p – полярный момент инерции поперечного сечения стержня.

Произведение GI_p условно называют **жесткостью сечения круглого бруса при кручении**.

При известных значениях l , I_p можно, измерив величину крутящего момента и соответствующий ему угол закручивания, подсчитать величину модуля сдвига.

Для проверки справедливости закона Гука нужно давать приращение нагрузки равными ступенями и наблюдать, соответствуют ли равным приращениям момента равные приращения угла закручивания.

Оборудование, приборы и материалы: установка для испытаний на кручение, измерительные приборы (угломер, штангенциркуль).

Методика проведения испытаний

В данной лабораторной работе используется образец из каучуковой трубы круглого поперечного сечения

Испытания образца на кручение выполняются на установке для испытаний, которая приведена на рис. 5.3.



Рис.5.3. Установка для испытания

С помощью рычага нагружения, закрепленного на свободном конце образца, путем перемещения груза создаем скручивающий момент.

Между закрепленным концом образца и свободным возникает взаимный угол поворота сечения

Отклонение контрольной линии на поверхности образца (*ЗЕЛЕНАЯ*) от линии нормали сечения (*КРАСНАЯ*) (схему на рисунке можно рассматривать как вид сверху) вызванное скручиванием образца образует угол закручивания

Поскольку скручивающий момент пропорционален плечу силы тяжести маятника, т.е. смещению его центра тяжести в горизонтальном направлении, то шкала нагрузок получается линейной.

Так как испытания проводят в области упругих деформаций, и углы поворота сечений малы, то для их измерений достаточна та точность, которая может быть получена измерительными приборами.

Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с устройством испытательной машины и измерительными приборами.

2. Замерить и внести в отчет: диаметр рабочей части образца d ; расстояние l между поперечными сечениями образца, взаимный угол поворота которых подлежит определению; расстояние R от его края до оси образца.

3. Рассчитать наибольший крутящий момент $T_{K\max}$, который не вызывает остаточных деформаций образца:

$$T_{K\max} = \tau_{\text{нц}} W_p, \quad (5.5)$$

где $\tau_{\text{нц}}=25\ldots35$ МПа – предел пропорциональности по касательным напряжениям для низкоуглеродистых сталей;

$$W_p = \frac{\pi d^3}{16} - \text{полярный момент сопротивления сечения.}$$

4. Определить величину шага нагружения ΔT_K (см. табл.5.1), чтобы получить 5...7 ступеней в пределах от нуля до $T_{K\max}$.

5. Установить грузовой маятник строго вертикально, что соответствует нулевому значению крутящего момента.

6. Увеличивая величину крутящего момента с шагом равным ΔT_K , записать соответствующие показания углов.

7. Достигнув максимальной нагрузки $T_{K\max}$, разгрузить образец.

8. Рассчитать экспериментальное значение угла закручивания для каждой ступени нагружения

$$\varphi_i = \frac{C_n n_{\text{ср.}i}}{R}, \quad (5.6)$$

9. Рассчитать приращение угла закручивания от ступени к ступени

$$\Delta\varphi_i = \varphi_i - \varphi_{i-1} \quad (5.7)$$

Замечание: значение φ_0 принять равным 0.

10. Вычислить среднее значение приращения угла

$$\Delta\varphi_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta\varphi_i}{n-1} \quad (5.8)$$

где n – число ступеней нагружения.

11. Вычислить модуль сдвига по среднему значению приращения угла закручивания и приращению крутящего момента:

$$G = \frac{\Delta T_{\kappa} l}{\Delta\varphi_{cp} I_p} \quad (5.9)$$

где $I_p = \frac{\pi d^4}{32}$ – полярный момент инерции сечения стержня.

12. Вычислить теоретическое значение модуля сдвига по формуле (5.2).

13. Определить абсолютную ошибку измерений $\varphi_i - \varphi_{теор,i}$, а затем и относительную

$$\delta = \frac{|G - G_{теор}|}{G_{теор}} \cdot 100\% \quad (5.10)$$

Таблица 5.1

№ ступени нагружения	T_{κ} Н·м	Показания индикатора, n , дел	φ , рад	$\Delta\varphi$, рад
1		0	0	
-				
n				

14. После выполнения расчетов необходимо вычертить график, иллюстрирующий закон Гука при кручении, в координатах «крутящий момент – угол закручивания». Примерный вид графика представлен на рис. 5.6. Отклонение экспериментальных значений от теоретической прямой показывает степень отклонения эксперимента от закона Гука.

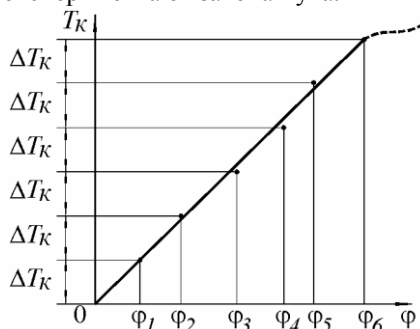


Рис. 5.4. Зависимость между углом закручивания и крутящим моментом

Вопросы для самопроверки

1. Что называется кручением?
2. Что называется валом?
3. По каким направлениям действуют максимальные касательные и максимальные нормальные напряжения при кручении?
4. Какое свойство материала характеризует модуль сдвига?
5. Какая зависимость существует между углом закручивания и крутящим моментом?
6. Какая механическая характеристика ограничивает выполнимость закона Гука?
7. Во сколько раз изменится угол закручивания, если диаметр образца увеличить вдвое?
8. Каким образом влияет на величину взаимного угла поворота сечений расстояние между ними?
9. Как измеряется в лабораторной работе угол закручивания?
10. Какая зависимость существует между тремя упругими постоянными изотропного материала: E , μ , G ?
11. Дайте краткое описание работы машины для испытаний на кручение.

Лабораторная работа № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСАДКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ВИНТОВОЙ ПРУЖИНЫ

Цель работы: определить опытным путем характеристику пружины, т.е. зависимость между осадкой пружины и осевой нагрузкой. Сопоставить полученные значения осадки пружины с вычисленными по теоретической формуле.

Осадка винтовой пружины % может быть вычислена по формуле

$$\lambda = \frac{8FD^3m}{Gd^4} = \frac{8Fc^3m}{Gd}$$

где F – осевая нагрузка, в кГ ;

G – модуль упругости при сдвиге (для стали $8 \cdot 10^5 \text{ кГ/см}^2$);

λ – осадка пружины, в см , т.е. перемещение точки приложения силы по направлению оси пружины;

d – диаметр проволоки пружины, в см ;

R – средний радиус витков пружины, в см ;

n – число рабочих витков пружины. Формула (1) приближенная, так как при выводе этой формулы не были учтены: влияние кривизны стрежня, угол подъема витков и другие второстепенные факторы. Следует убедиться в том, что получаемые по этой формуле результаты вполне пригодны для практического пользования, производя опытную проверку, т. е. измерив непосредственно осадку пружины при заданных нагрузках.

Испытательные машины

Удобнее всего определить характеристику пружины на специальной машине для испытания цилиндрических винтовых пружин МИП-10.

Предельная нагрузка машины 10 кг.

Для проведения испытаний пружин, требующих нагрузки больше 10 кг, можно использовать машины следующих типов: УМ-5, Р-5, ИМ-4А и др.

Измерять осадку пружины можно при помощи индикатора (с ценой деления 0,01 мм). На рис. 6 показана такая установка. Нагружение производится грузами, устанавливаемыми на штангу.

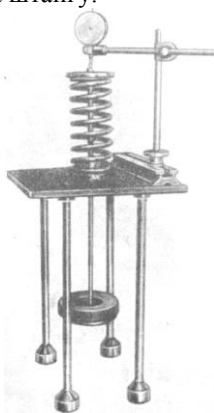


Рис.6. Приспособление для испытания пружин

Порядок проведения испытания

1. При помощи штангенциркуля измеряют диаметр проволоки пружины и наружный диаметр витков пружины. Подсчитывают число рабочих витков пружины. Оно может быть и не целым числом. Вычисляют средний радиус пружины.

2. Вычисляют осадку пружины по теоретической формуле (1) и по полученному значению строят линейную теоретическую характеристику пружины.

3. Пружину устанавливают на испытательную машину или приспособление. Производят нагружение пружины, наращивая нагрузку равными ступенями, и фиксируют для каждой ступени нагружения величину осадки.

Результаты испытаний удобно занести в таблицу

Нагрузка P , в кг						
Осадка, в см						

4. Сравнивают величину осадки пружины, вычисленной по теоретической формуле (1), с осадкой пружины, измеренной при испытании. Вычисляют процент расхождения между ними $\delta = (\lambda_{\text{теор}} - \lambda_{\text{опыт}}) / \lambda_{\text{опыт}} \cdot 100\%$

На графике характеристики пружины, построенном по теоретическому расчету, отмечают величину нагрузок и соответствующие им осадки, полученные опытным путем.

При правильном проведении испытания опытные точки должны располагаться близко к прямой линии, отражающей прямую пропорциональную зависимость осадки пружины от нагрузки.

Коэффициент жесткости пружины $c = \Delta F / \Delta \lambda$

Максимальные касательные напряжения:

$$\tau_{\max} = \frac{8FD}{\pi d^3} = \frac{8F \cdot c}{\pi d^2}$$

Составление отчета

Отчет о проделанной работе должен содержать:

1. Эскиз пружины с указанием размеров, необходимых для вычисления ее осадки.
2. Вычисление осадки пружины теоретическим путем и построение ее характеристики.
3. Таблицы измерений осадки пружины в зависимости от нагрузки.
4. Сравнение результатов испытания с теоретическими данными. Вычисление процента расхождения между ними.

Лабораторная работа №7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ ИЗГИБЕ БАЛКИ

Цель работы: изучение методов определения перемещений в балках; экспериментальное и расчётное определение прогиба

Основные теоретические положения

Определение перемещений является важной задачей для анализа различных упругих систем, в частности балок. В сопротивлении материалов перемещения точек балки обычно связывают с перемещениями соответствующих поперечных сечений.

Для балки различают два вида перемещений поперечных сечений (рис. 7.1): y – прогиб, или поперечное линейное перемещение центра сечения; θ – угол поворота, или угловое перемещение сечения (вокруг нейтральной оси сечения).

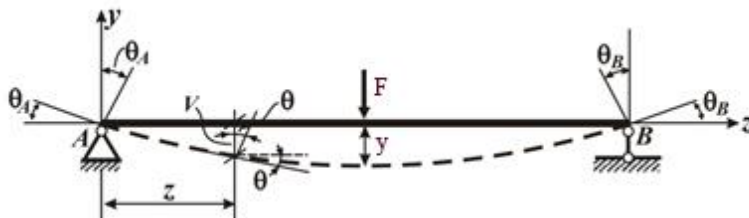


Рис. 7.1 Перемещения поперечных сечений балки

В методе единичной нагрузки перемещение поперечного сечения балки определяется по формуле $\delta = \sum \int \frac{M_1 \overline{M} dz}{EI_x}$ (7.1)

где δ – искомое перемещение (прогиб y или угол поворота θ сечения);
 l – длина балки; EI_x – жёсткость балки на изгиб; $M = M(z)$, $M_1 = M_1(z)$ – изгибающие моменты в произвольном сечении балки от заданной нагрузки (для грузового состояния) и от единичной нагрузки (для единичного состояния).

Для прямолинейной балки постоянной жёсткости интеграл (7.1) удобно вычислять по способу Верещагина, используя следующую формулу:

$$\delta_{11} = \frac{1}{EI_x} \sum M_1 \overline{M} \quad (7.2)$$

где M_1 – площадь i -ой части грузовой эпюры; \overline{M} – ордината единичной эпюры, расположенная под центром площади грузовой эпюры;

Перед вычислением перемещения грузовую эпюру необходимо разбить на простые геометрические фигуры, для которых известны площадь и положение центра площади, а соответствующий участок единичной эпюры должен представлять прямую линию.

На рис. 7.2 изображены грузовое состояние (ГС) и соответствующие единичные состояния (ЕС₁) балки и показаны эпюры изгибающих моментов, необходимые для определения максимальных значений прогиба (y) в шарнирно-опёртой балке:

- грузовая эпюра (эп. M) от заданной нагрузки (силы P);
- единичная эпюра (эп. M_1) силы $I = F$, приложенной в сечении K ;

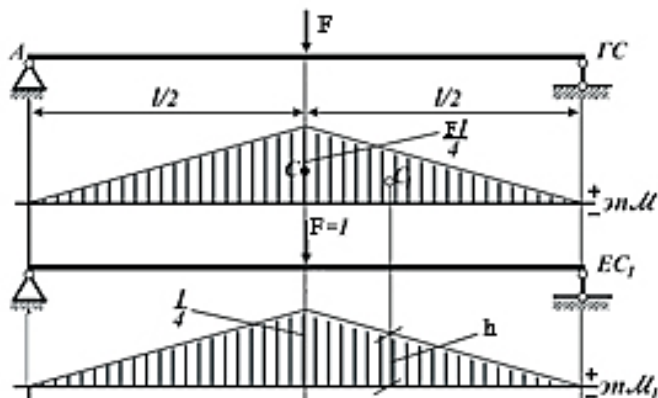


Рис. 7.2 Эпюры изгибающего момента

Выполнив «перемножение эпюр» по формуле (7.2) (см. рис. 7.2) получим расчетную величину для искомого перемещения:

Методика испытания

Испытание проводят для деревянной балки прямоугольного сечения. Балку шарнирно закрепляют в концевых сечениях, а нагрузку в виде сосредоточенной силы прилагают в среднем сечении балки. Целью испытания является экспериментальное определение прогиба среднего сечения балки.

Для определения прогиба применяют индикатор часового типа, который закрепляют на индикаторной стойке так, чтобы он своим подвижным штоком упирался в балку для измерения поперечных перемещений балки.

Примечание. Индикатор измеряет полное линейное перемещение точки балки в направлении установленного штока независимо от причины такого перемещения – вследствие деформирования балки или её смещения как абсолютно жёсткого тела. В то же время, под прогибом понимается только деформационная часть линейного перемещения. Индикатор как раз и предназначен для определения перемещений опорных сечений балки (за счёт осадки опор): если их показания отличны от нуля, то это означает, что балка смещается как жёсткое тело.

По показаниям индикаторов определяются линейные перемещения Δj в рассматриваемых сечениях балки по формуле

$$\Delta j = m_u n_j, \quad j = 1, 2, 3, \quad (7.3)$$

где m_u – цена деления шкалы индикатора; n_j – показания j -го индикатора на ступень нагружения.

Показания индикатора ИЧ25 соответствуют полному перемещению среднего сечения

Испытания проводятся на установке, представленной на рисунке 7.4.

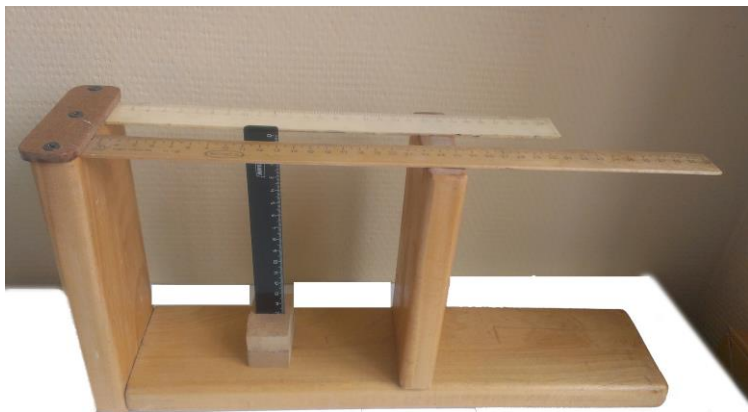


Рис. 6.4 Испытательная установка характеризуется следующими параметрами: длина балки $L = 30$ см; момент инерции прямоугольного сечения $J_x = 0,001$ см⁴; модуль упругости древесины $E = 10 \cdot 10^9$ Па; цена деления шкалы индикатора $m_u = 0,01$ мм/дел.

Для испытания вертикально устанавливают подвижную опору на расстоянии L . Посередине балки на штативе устанавливается индикатор часового типа (см. рис. 7.4). Нагрузку в виде вертикальной сосредоточенной силы F прилагают в среднем сечении балки. Последовательно производят ступенчатое статическое нагружение балки. Для каждого значения нагрузки F_i ($i = 1, 2$) снимаются показания индикатора (n_i), которые необходимо внести в таблицу результатов испытания (табл. 7.1).

Таблица 7.1 Результаты испытания балки

F , кН	L , м	n_i

После проведения испытания балки необходимо обработать опытные данные:

- вычислить значения перемещений Δ_j в сечении балки, где установлен индикатор, по формуле (6.3);
- определить экспериментальное значение прогиба среднего сечения балки

Отчет по лабораторной работе

Внести экспериментальные и расчётные значения прогиба (с точностью до сотых) в таблицу

Таблица 7.2

Величина	Y , мм
Эксперимент	
Расчет	

Вывод:

Лабораторная работа №8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ МАТЕРИАЛА

Цель работы: изучить устройство и работу маятникового копра и методику определения ударной вязкости материала.

Основные теоретические положения

Испытания при приложении ударных нагрузок

В условиях эксплуатации часто возникают ударные воздействия, например при переезде транспортных средств через выбоины, при формировании железнодорожных составов, при взлете и посадке самолетов и даже при зацеплении шестерен и зубчатых колес в приводе. В таких случаях для характеристики поведения материала необходимо провести испытания с использованием ударной нагрузки.

Предусмотрено несколько видов испытаний с применением ударных нагрузок. К ним относятся:

- испытания на ударное растяжение и ударное сжатие, которые проводят для определения механических свойств (прочности и пластичности) материала при его растяжении – сжатии с высокой скоростью;
- испытания на ударное кручение;
- испытания на ударный изгиб;
- испытания на ударную вязкость надрезанных образцов.

Испытание на ударную вязкость надрезанных образцов

Испытание на ударный изгиб имеет наибольшее значение для определения сопротивления хрупкому разрушению вязких металлических и высокополимерных материалов. Испытание на ударный изгиб образцов с надрезом используется не только для определения склонности к хрупкому разрушению конструкционных сталей, но и для контроля качества обработки, однородности структурного состояния, а так же, например, для определения склонности к старению. Этот метод является самым распространенным (после испытаний на растяжение) стандартным испытанием материалов в металлургическом производстве и металлообрабатывающей промышленности, что не в последнюю очередь объясняется его простотой и малым расходом материала.

Испытание на ударный изгиб образцов с надрезом производится на маятниковых копрах.

При проведении испытаний на ударный изгиб надрезанный с одной стороны образец разрушается или прогибается, насколько позволяют возможности маятникового копра. При этом образец располагается на двух опорах. Положение образца и схема нанесения удара показаны на рис.8.2

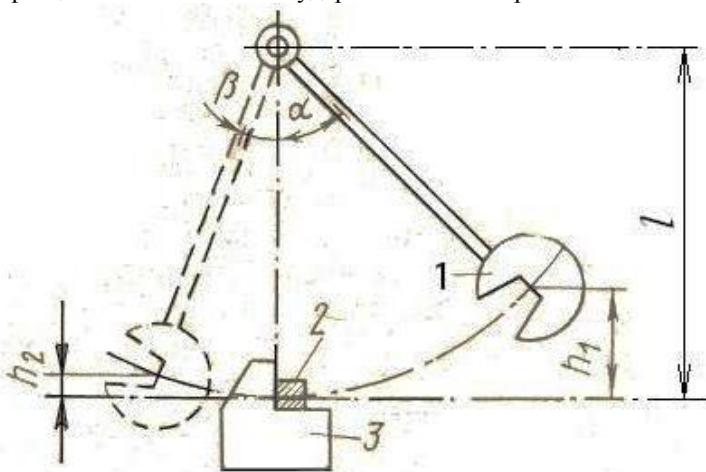


Рис.8.1. Испытание на ударный изгиб образца с надрезом:
1 – маятниковый копер; 2 – образец; 3 – опоры.

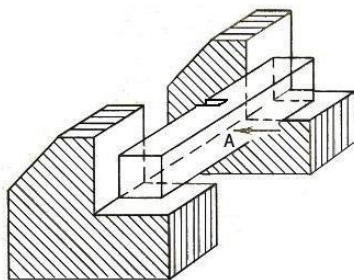


Рис.8.2. Расположение образца на опорах копра: *A* – направление удара.

Укрепленный на стержне молот (см. рис.8.1), имеющий на своей ударной стороне фигурный вырез или боек (нож), описывает после высвобождения дугу и в самой нижней точке траектории движения передает часть своей кинетической энергии образцу.

В стандартах на методы испытаний на ударную вязкость разработано и нормировано большое число образцов разных размеров с различной формой надреза. Поскольку образец с надрезом не удовлетворяет законам подобия, можно сравнивать только те результаты испытаний, которые получены на образцах одинаковой формы.

Для проведения испытаний образец с надрезом свободно помещают на опоры, причем смещение плоскости симметрии надреза и плоскости симметрии опор не должно превышать 0,5 мм. С таким же допустимым отклонением должен осуществляться удар маятникового груза, приходящийся по стороне образца без надреза. Скорость маятникового копра V (м/с) в момент соударения зависит от высоты падения:

$$V = \left[2gl(1 - \cos \alpha)^{1/2} \right] \approx (2gh_1)^{1/2}, \quad (8.1)$$

где g – ускорение свободного падения;

l – расстояние между центром вращения и серединой образца;

α – угол падения маятникового груза;

h_1 – высота падения (см. рис.8.1)

В обычных маятниковых копрах с запасом работы от 150 до 300 Дж скорость соударения маятникового груза с образцом лежит в интервале от 5 до 7 м/с; в ротационных копрах скорость удара может достигать 200 м/с. Для испытаний с пониженной энергией или с пониженной скоростью соударения (например, для высокомерных материалов) требуются маятниковые копры с грузом меньшей массы или с небольшой высотой падения.

В качестве характеристики вязкости определяется необходимая для разрушения образца работа W_k (кгс·м) по разности потенциальных энергий маятникового груза до и после удара. Эту работу рассчитывают по равенству:

$$W_k = G(h_1 - h_2) = Gl(\cos \beta - \cos \alpha) \quad (8.2)$$

где G – масса маятникового груза;

h_1 – высота взвода маятника копра;

h_2 – высота отлета маятника копра;

α, β – углы взвода и отлета маятника копра, соответственно.

Стандартные маятниковые копры имеют шкалу, которая непосредственно указывает с помощью стрелки-указателя расходуемую работу. В общем случае принято работу удара W_k делить на измеренную до испытаний площадь поперечного сечения образца в плоскости симметрии надреза A_0 (см²). Этот параметр округляют до целого числа и называют *ударной вязкостью* материала a_k (кг·м/см²).

$$a_k = W_k / A_0 \quad (8.3)$$

Таким образом, ударная вязкость материала характеризует способность материала сопротивляться разрушению при ударе.

Наряду с ударной вязкостью для характеристики вязкости материала используют внешний вид макроизлома и угол изгиба образца. Количественная оценка излома предусматривает определение доли кристаллического излома, т. е. доли хрупкого разрушения на поверхности излома. В металлах эти участки излома можно определить по кристаллическим блестящим поверхностям разрушения.

Методика проведения испытаний

Испытания проводятся на маятниковом копре с линейной шкалой, по которой фиксируется работа W_k , затраченная на разрушение образца. Схема копра приведена на рис.8.3.

Храповое колесо предназначено для взвода (подъема) маятникового груза на различную высоту, так как для хрупких материалов требуется работа на разрушение меньшая, чем для пластичных.

Порядок проведения испытания

1. Измерить площадь поперечного сечения образца A_0 в месте удара (в плоскости надреза).
2. Ввести маятник копра.
3. Образец поместить на опоры копра таким образом, чтобы удар бойка маятника приходился напротив надреза (как показано на рис.8.2).
4. Произвести удар, после удара снять показания со шкалы копра (W_k , кгс·м/см²).
5. По формуле 8.3 рассчитать ударную вязкость материала образца.

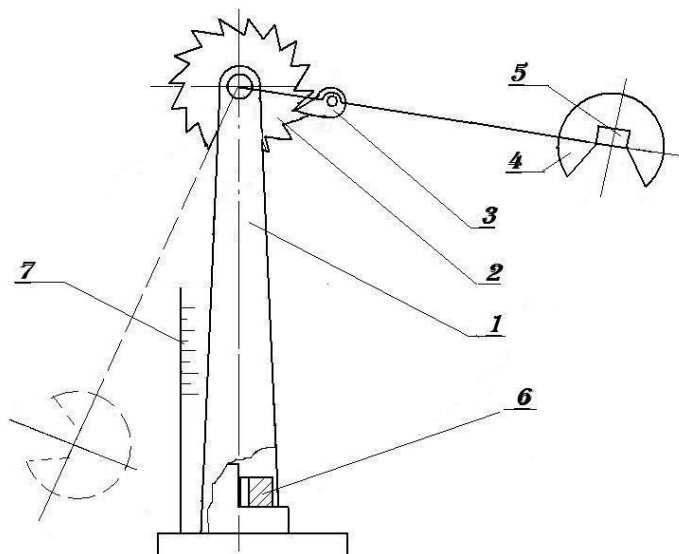


Рис.8.3. Маятниковый копер: 1 – стойки; 2 – храповое колесо; 3 – фиксатор; 4 – груз маятника; 5 – боек (нож); 6 – образец; 7 – шкала работ.

Вопросы для самопроверки

1. Что характеризует ударная вязкость материала?
2. Описать устройство и механизм работы маятникового копра?
3. Изменяются ли показания копра, если при испытании образцов из одного и того же материала копер взвести на разную высоту?
4. Можно ли сравнивать величину ударной вязкости материалов, полученную при испытании образцов разного поперечного сечения?
5. Как рассчитать работу, затраченную копром с угловой шкалой на разрушение образца, если известен угол взвода α и угол отлета β маятника (см. рис.8.1)?

Лабораторная работа №9

ИСПЫТАНИЕ ПРОВОЛОКИ

Цель работы: ознакомление с методами испытаний проволоки.

Основные теоретические положения

Испытаниям подвергаются металлические проволоки круглого, квадратного и прямоугольного сечения с величиной поперечного сечения не более 16 мм, а также специального фасонного профиля с отношением ширины к толщине не более 4, с постоянным поперечным сечением и периодическим профилем.

Проволоку подвергают механическому испытанию на растяжение для определения основных механических характеристик и характеристик пластичности материала, из которого она изготовлена, а также ряду технологических испытаний.

Технологические испытания проводятся для определения возможности применения материала в данном способе производства или для специальных целей использования. Зачастую технологические испытания с той или иной степенью точности повторяют технологические процессы обработки или эксплуатации материала. Большинство методов технологических испытаний применяют для определения деформируемости металлических материалов, поскольку склонность к пластической деформации является одним из важнейших свойств металла с точки зрения его обработки.

Испытания необходимо проводить так, чтобы их результаты можно было использовать для оценки пригодности испытываемого изделия.

Методы испытания проволоки

Испытание на растяжение

Оборудование: разрывная машина, измерительный инструмент, образцы проволоки.

Методика проведения испытания

Перед испытанием определяют начальный диаметр образца d_0 по рабочей части. Измерение проводят не менее чем в трех местах – в средней части и на границах рабочей длины.

Начальная расчетная длина l_0 для определения относительного удлинения после разрыва должна быть 100 или 200 мм в зависимости от требований, указанных в нормативно-технической документации на проволоку.

Начальную площадь поперечного сечения A_0 вычисляют по размерам, с погрешностью не более 0,01 мм. При измерении круглой проволоки диаметром менее 1,0 мм и плоской проволоки толщиной менее 0,5 мм погрешность измерения должна быть не более допускаемых отклонений на данный размер, установленных в соответствующих стандартах и технических условиях на проволоку. Площадь поперечного сечения проволоки специального профиля вычисляется по формуле:

$$A_0 = \frac{1000 \cdot m}{l_{\text{общ}} \cdot \rho}, \quad (9.1)$$

где m – масса образца, г; $l_{\text{общ}}$ – общая длина образца, мм;
 ρ – плотность материала образца, г/см³.

Образец устанавливают в захваты разрывной машины и подвергают растяжению до разрыва. Во время деформации образца фиксируется нагрузка текучести F_T (если текучесть имеет место) и максимальная разрывная нагрузка F_{max} .

После испытания измеряют расчетную длину образца l_K . Размеры шейки образца измеряются штангенциркулем с точностью до 0,1 мм, причем измеряется меньший диаметр в месте разрыва d_K (рис.9.1).

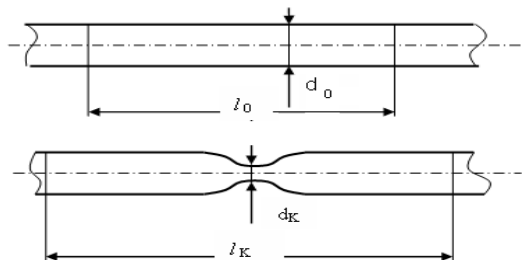


Рис.9.1. Эскиз образца до и после испытания

Обработка результатов испытания:

- относительное удлинение в момент разрыва:

$$\xi = \frac{l_K - l_0}{l_0} \cdot 100\%; \quad (9.2)$$

- относительное сужение в момент разрыва:

$$\varphi = \frac{A_0 - A_K}{A_0} \cdot 100\%; \quad (9.3)$$

- предел текучести (если текучесть имеет место):

$$\sigma = \frac{F_T}{A_0}; \quad (9.4)$$

- предел прочности (временное сопротивление разрыву):

$$\sigma_B = \frac{F_{\text{max}}}{A_0}. \quad (9.5)$$

Для сравнения свойств различных проволок испытания можно проводить на нескольких образцах из различных материалов.

Протокол испытания:

образец 1: _____

образец 2: _____

Таблица 9.1 Размеры образца

Образец	1	2	1	2
Размер, мм	До испытания		После испытания	
Диаметр d				
Площадь поперечного сечения A				
Расчетная длина l				

Таблица 9.2 Характеристики проволоки

Образец	1	2
Относительное удлинение в момент разрыва ξ , %		
Относительное сужение в момент разрыва ψ , %		
Нагрузка предела текучести F_m , Н		
Предел текучести σ_m , МПа		
Максимальная разрывная нагрузка F_{max} , Н		
Предел прочности σ_b , МПа		
Разрывная нагрузка при испытании с узлом, Н		

Испытание на гиб с перегибом

Испытания на гиб с перегибом проводят, чтобы определить способность материала к изменению формы, когда имеет место неоднократная холодная деформация при изменении направления нагрузки. Этим методом контролируют тонкие листы толщиной до 3 мм и проволоку диаметром от 0,5 до 10 мм. Перед испытанием допускается проводить правку образцов, которая не должна оказывать влияние на состояние поверхности и форму сечения проволоки.

Оборудование: прибор для испытания на гиб с перегибом (рис.9.2), образцы проволоки.

Методика проведения испытания:

- параметры прибора устанавливаются в соответствии с таблицей 9.3;
- образец длиной 100 – 150 мм заправляется в прибор таким образом, что длина нижнего зажимаемого конца должна быть не менее высоты губок. При испытании проволоки диаметром менее 0,8 мм к образцу должно быть приложено предварительное натяжение, не превышающее 3% от номинального разрывного усилия F_{max} , которое создается с помощью подпружиненного зажима в верхней части рычага;
- частота перегибов не должна превышать 60 мин⁻¹ – для проволоки диаметром 5 и менее мм, и 30 мин⁻¹ – для проволоки диаметром свыше 5,0 мм;
- первый цикл – перегиб образца из вертикального в горизонтальное положение, последующие – последовательные перегибы на 180°. Последний перегиб, при котором произошло разрушение образца, в расчет не принимается. Прибор снабжен счетчиком циклов.

Образец считается выдержавшим испытание, если он не разрушился при числе перегибов, заданном в нормативно–технической документации.

Таблица 9.3 Выбор изменяемых параметров прибора

Диаметр проволоки d , мм	Диаметр валиков D , мм	Разводка прибора a , мм
0.5 – 1.2	2.5	15
1.2 – 2.6	5	20
2.6 – 3.5	7.5	25

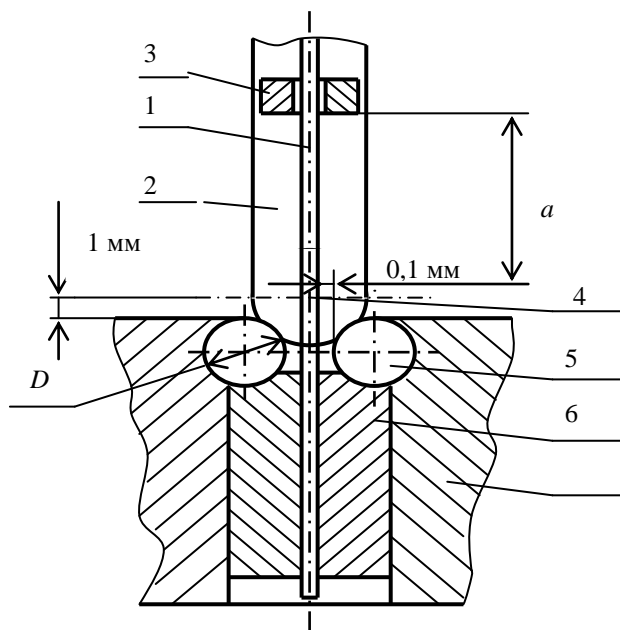


Рис.9.2. Прибор для испытания на гиб с перегибом:
1 – образец; 2 – рычаг; 3 – поводок; 4 – ось качания рычага;
5 – сменные валики; 6 – зажимная губка; 7 – тиски; a – разводка

Протокол испытания:

Таблица 9. 4 Результаты испытания на гиб с перегибом

Образец	Диаметр образца d , мм	Диаметр валиков D , мм	Разводка a , мм	Число циклов до разрушения N
1				
2				

Вывод:

Испытание на скручивание до разрушения

Испытание на скручивание проводят для контроля листов и проволоки на равномерность структуры и свойств, а также на способность к изменению формы. Метод применим для проволоки диаметром от 0,14 до 10 мм и фасонной проволоки с соответствующими этим диаметрам площадями поперечных сечений.

Оборудование: крутильная машина, подвеска с грузами, образцы проволоки.

Методика проведения испытания:

- длина образца и максимальная скорость скручивания зависят от номинального диаметра проволоки и могут быть выбраны по таблице 9.5.

Таблица 9.5 Выбор длины образца и скорости скручивания

Диаметр проволоки d , мм	Длина образцов l , мм	Максимальная скорость скручивания, c^{-1}
0,3 – 1,0	200 d	3,0
1,0 – 1,5	100 d	1,5
1,5 – 3,0	100 d	1,0
3,0 – 5,0	100 d	0,5
5,0 и более	50 d	0,25

- проволока закрепляется в захваты машины таким образом, чтобы не было прокручивания и не повреждалась поверхность образца. Одна из зажимных головок, перемещаемая вдоль продольной оси, обеспечивает дополнительное натяжение образца с силой $F_{НАТ}$, составляющей приблизительно 2% от максимальной разрывной нагрузки F_{max} .

Характеристикой, определяющей способность к скручиванию, является число скручиваний до разрушения. Испытания, при которых проволока разрушилась в захвате, необходимо повторить.

В соответствии с требованиями нормативно–технической документации на проволоку могут быть проведены следующие виды испытаний и контроля:

- скручивание в одном направлении до разрушения;
- скручивание с переменной направлением кручения;
- скручивание двух рядом сложенных образцов (двойное скручивание);
- скручивание с определением характера излома и состояния образцов после скручивания.

Испытание на навивание

Испытание на навивание (наматывание) проводят для определения способности проволоки к деформации или для определения прочности сцепления покрытия с материалом проволоки.

Оборудование: оправки, образцы, микроскоп или лупа. Испытание проводится вручную или с использованием крутильной машины.

Методика проведения испытания:

- проволоку диаметром 0,14 – 10 мм навивают по винтовой линии на цилиндрическую оправку плотно прилегающими витками. Число витков должно быть в пределах 5 – 10, частота вращения при навивании не должна превышать одного оборота в секунду. Диаметр оправки выбирается по таблице 9.6.

Таблица 9.6 Диаметр оправки

Диаметр проволоки d , мм	Диаметр оправки D , мм
≤ 4	d
4 – 6	$2d$
6 – 10	$3d$

Проволока считается прошедшей испытание, если отсутствуют расслоения, трещины, надрывы, изломы или разрушения как в основном материале образца, так и в его покрытии, видимые невооруженным глазом или с помощью оптических приборов.

Протокол испытания:*Таблица 9.7 Результаты испытания на скручивание*

Образец	Диаметр образца d , мм	Длина образца l , мм	Скорость скручивания, мин ⁻¹	Нагрузка натяжения $F_{нат}$, г	Число циклов до разрушения N
1	одинарн.				
	двойн.				
2	одинарн.				
	двойн.				

Таблица 9.8 Результаты испытаний на навивание

Образец	Диаметр проволоки d , мм	Диаметр оправки D , мм	Вывод
1			
2			

Вопросы для самопроверки

1. С какой целью проводят технологические испытания и в чем их отличия от механических испытаний?
2. Назовите примеры процессов производства или эксплуатации, для которых важны те или иные технологические испытания.
3. Назовите виды испытаний проволоки. В чем суть каждого испытания?
4. Какие бывают виды скручивания?
5. Как оцениваются результаты испытаний на гиб с перегибом и на навивание?
6. Какие свойства материала влияют на результаты технологических испытаний проволоки?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Степин П.А. Сопротивление материалов [Электронный ресурс]: учебник. – Электрон. дан. – СПб.: Лань, 2014. – 320 с. – Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=3179 – Загл. с экрана. (ЭБС ЛАНЬ)
2. Беляев, Н.М. Сборник задач по сопротивлению материалов [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н.М. Беляев, Л.К. Паршин, Б.Е. Мельников [и др.]. – Электрон. дан. – СПб.: Лань, 2017. – 432 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/books/91908> – Загл. с экрана. (ЭБС ЛАНЬ)
3. Куликов, Ю.А. Сопротивление материалов. Курс лекций. [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – СПб.: Лань, 2017. – 272 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/91882> – Загл. с экрана. (ЭБС ЛАНЬ)
4. Миролюбов, И.Н. Сопротивление материалов. Пособие по решению задач. [Электронный ресурс] / И.Н. Миролюбов, Ф.З. Алмаметов, Н.А. Курицин, И.Н. Изотов. – Электрон. дан. – СПб.: Лань, 2014. – 512 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/39150> – Загл. с экрана. (ЭБС ЛАНЬ)
5. Молотников В. Я. Механика конструкций. Теоретическая механика. Сопротивление материалов [Электронный ресурс]: учебное пособие. – Электрон. дан. – СПб.: Лань, 2012. – 540 с. – Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=4546 – Загл. с экрана. (ЭБС ЛАНЬ)
6. Молотников В. Я. Курс сопротивления материалов [Текст]: учебное пособие для студентов вузов по напр. «Агроинженерия». – СПб.: Лань, 2006. – 380 с.: ил. – (Учебники для вузов. Специальная литература). Библиогр.: с. 372. – Предм. указ.: с. 373-376.
7. Механика: Учебное пособие / В.Л. Николаенко. – М.: ИНФРА-М; Мн.: Нов. знание, 2011. – 636 с.: ил.; 60х90 1/16. – (Высшее образование). (переплет) ISBN 978-5-16-004865-9.
8. Жуков, В.Г. Механика. Сопротивление материалов [Электронный ресурс]: учебное пособие. – Электрон. дан. – СПб.: Лань, 2012. – 415 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com>
9. Сопротивление материалов: задания для самостоятельной работы, практических занятий, контрольных и расчетно-графических работ/ Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т.; сост. А.А. Шибков, С.А. Булгаков, И.В. Тихонкин. – Новосибирск, 2017. – 48 с. изд. перераб. и доп.
10. Сопротивление материалов: справочные данные для прочностных расчетов/ Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т; сост.: А.А. Шибков, С.А. Булгаков, И.В. Тихонкин. – Новосибирск, 2015. – 32 с. изд. перераб. и доп.

Составители: Булгаков Сергей Алексеевич
Тихонкин Игорь Васильевич

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Задания и методические указания
для выполнения лабораторных работ

Печатается в авторской редакции
Компьютерная верстка С.А. Булгаков

Подписано в печать 29 сентября 2020 г.
Формат 84×108/32. Объем 3,25 уч.-изд. л
Тираж 100 экз. Изд. № . Заказ №

Отпечатано в мини-типографии Инженерного института
630039, г. Новосибирск, ул. Никитина, 147

