

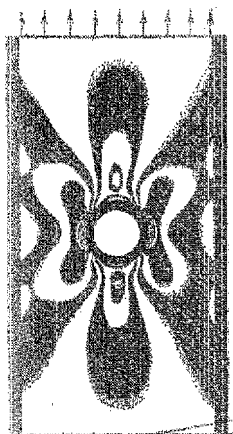
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Кафедра сопротивления материалов и теоретической механики

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ

*для студентов строительных и механических специальностей
дневной и заочной форм обучения*

(Часть 1)



Брест 2005

При изучении сопротивления материалов чрезвычайно важную роль играет эксперимент, который дает возможность получить механические характеристики материалов, необходимые для построения теории расчетов на прочность. С помощью эксперимента производится проверка теоретических выводов и формул сопротивления материалов. Обычно эти выводы и формулы получаются на основании допущений (гипотез), а поэтому требуют проверки на опыте.

Основная цель методических указаний – оказать помощь студентам при самостоятельной подготовке к лабораторным работам.

Составители: А.И.Веремейчик, ст. преподаватель
С.С.Даркович, ст. преподаватель
В.П.Мартиновский, доцент
П.И.Соловей, доцент
А.М.Трусь, профессор
В.М. Хвисевич, доцент

Содержание

| | Стр. |
|---|------|
| 1. Введение | 4 |
| 2. Техника безопасности | 4 |
| 3. Измерительные приборы | 4 |
| Лабораторные занятия | |
| Часть I. Определение физических и механических характеристик материалов | |
| Работа №1 | 8 |
| Работа №2 | 13 |
| Работа №3 | 15 |
| Работа №4 | 20 |
| Работа №5 | 22 |
| Работа №6 | 25 |
| Работа №7 | 27 |
| Работа №8 | 29 |

1. Введение

Сопротивление материалов - это инженерная наука о прочности, жесткости и устойчивости элементов строительных конструкций, механизмов и машин. Все конструкции выполняются из реальных материалов, каждый из которых обладает присущими ему физико-механическими свойствами.

Программой курса сопротивления материалов предусматривается параллельно с изучением теоретического материала выполнение ряда лабораторных работ. Часть этих работ связана с изучением механических свойств материалов, для выполнения расчетов на прочность, жесткость и устойчивость. Другая часть посвящена опытной проверке расчетных формул, полученных теоретическим путем.

Очень важным вопросом является проверка основного закона сопротивления материалов - закона Гука для различных материалов. Кроме того, на лабораторных занятиях студент знакомится с методикой и техникой проведения испытаний образцов и конструктивных элементов, с измерительными приборами и испытательными машинами. Завершением лабораторных работ является отчет, выполненный студентом по установленной форме, с последующей защитой.

2. Техника безопасности

В лаборатории кафедры СМ и ТМ размещено сложное оборудование с высоким электрическим напряжением, опасным для жизни человека, а также ряд напольных и настольных установок с относительно тяжелыми грузами, которые могут привести к травме.

С целью предупреждения несчастных случаев студенты обязаны соблюдать следующие основные правила:

- 1) выполнять требования преподавателя и учебного персонала лаборатории о соблюдении правил техники безопасности;
- 2) приступать к выполнению лабораторной работы только после разрешения преподавателя или учебного персонала лаборатории;
- 3) запрещается самовольно приводить в действие машины, механизмы, нагружать установки;
- 4) при выполнении работы не отвлекаться на посторонние действия;
- 5) при обнаружении неисправности немедленно заявить об этом преподавателю или учебному персоналу лаборатории;
- 6) запрещается трогать приборы, установки и испытательные машины, на которых не выполняется данная лабораторная работа;
- 7) к лабораторным работам допускаются студенты, ознакомленные с приведенными требованиями под личную подпись.

В лабораторных работах используются точные высокочувствительные измерительные приборы. С целью предотвращения их порчи запрещается самовольно их регулировать или переставлять.

3. Измерительные приборы

При проведении испытаний образцов и элементов конструкций возникает необходимость в измерении их начальных размеров, а также перемещений и деформаций, вызванных нагрузкой. Для этого используются соответствующие измерительные приборы с ценой деления (α).

Для измерения размеров используются мерные ленты ($\alpha=1\text{мм}$), штангенциркули ($\alpha=0.05$ или 0.1мм), микрометры ($\alpha=0.01\text{мм}$), а для измерения перемещений – стрелочные индикаторы ($\alpha=0.001$ и 0.01мм). Деформации в материале конструкции, которые в упругой стадии очень малы, измеряются тензометрами различных конструкций механическими и оптическими ($\alpha=0.001\text{мм}$) или электрическими ($\alpha=0.001\text{мм}$).

3.1. Штангенциркуль

Штангенциркуль применяется для измерения наружных и внутренних размеров образцов и деталей. В лабораторной практике используются штангенциркули с пределом измерения до 125 мм и до 500 мм с точностью отсчета 0,05 и 0,1 мм.

Штангенциркуль (рис.1) состоит из штанги 2, оканчивающейся губками 1- для измерения наружных размеров, и 3- для измерения внутренних размеров, и свободно перемещаемой по штанге рамки 4 с такими же губками.

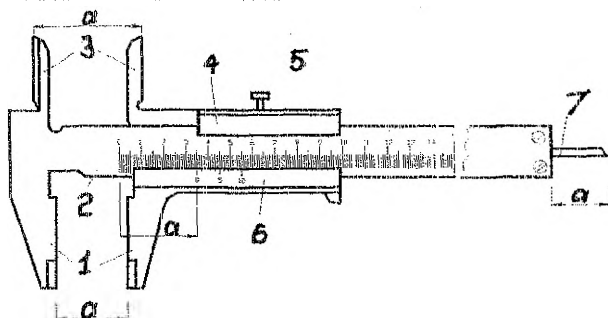


Рис. 1. Штангенциркуль

0- 125мм: 1- губки, 2- штанга, 3- губки, 4 – рамка, 5 – стопор, 6 – нониус, 7 – линейка.

На штанге 2 имеется шкала с делениями от 0 до 125 мм через один миллиметр, а на рамке нанесены 10 делений нониуса 6, позволяющего делить отсчеты с точностью до 0,1 мм. На тыльной стороне штангенциркуля к рамке 4 прикреплена линейка 7, скользящая в канавке штанги и предназначена для измерения глубин. Рамка 4 снабжена стопорным винтом 5, которым она закрепляется на штанге неподвижно, при необходимости получить шаблон размера. Штангенциркули других размеров с верхним пределом более 300 мм отличаются от описанных тем, что имеют односторонние губки только для измерения наружных размеров.

3.2. Микрометр

Микрометры предназначены для измерения наружных размеров с точностью до 0,01 мм. Микрометр (рис.2) состоит из скобы 1, на одном конце которой установлена пятка 2, на другом – гильза 5. Внутри гильзы передвигается микрометрический винт 3, приводимый в движение барабаном 6. На гильзе нанесена продольная черта 4 и поперечные штрихи через 1 мм. По штрихам, расположенным от продольной черты вниз и отмеченным цифрами через каждые 5 мм, производится отсчет целых миллиметров. Штрихи, проведенные от продольной черты вверх, делят пополам каждый миллиметр нижней шкалы.

Барабан 6 заканчивается конусом, по окружности которого расположена шкала из 50 равных делений. Шаг резьбы микрометрического винта равен 0,5 мм. Следовательно, при одном обороте барабана 6 микрометрический винт 3 и барабан получают продольное перемещение относительно гильзы на 0,5 мм, а шкала конического края барабана проходит все 50 делений. Таким образом, цена одного деления шкалы барабана составляет 0,01 мм.

Сотые доли миллиметра до величины 0,5 мм прочитываются по шкале конического края барабана 6 непосредственно, если ближайшим к этому краю является нижний поперечный штрих гильзы 5. Если же у края барабана 6 находится верхний поперечный штрих гильзы, как показано на рис.2, то к числу сотых миллиметра, прочитанных на барабане, нужно добавить 0,5 мм. Например, на рис.2 микрометр показывает, что измеряемое расстояние равно 5,51 мм.

У микрометров с нижним пределом измерения, равным нулю, при соприкосновении между собой измерительных поверхностей пятки и винта конический край барабана совпадает с нулевым штрихом гильзы, а нулевой штрих шкалы барабана – с продольной чертой гильзы.

Барабан 6 на свободном конце снабжен головкой 7 с трещеткой. При вращении головки 7 барабан вращается до тех пор, пока деталь не окажется зажатой между измерительными поверхностями винта и пятки с определенным давлением, после чего головка 7 проворачивается с трещеткой. Этим обеспечивается постоянное измерительное усилие микрометрического винта и исключается влияние деформаций детали на точность измерений.

Стопорный винт 4 предназначен для неподвижного закрепления микрометрического винта при заданном размере.

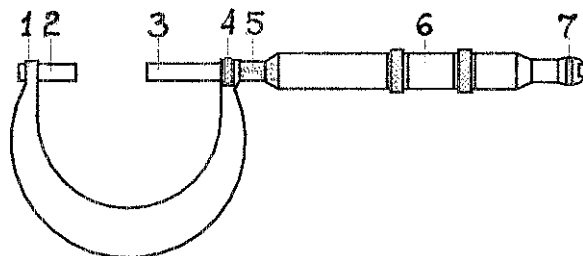


Рис. 2. Микрометр

1 – скоба, 2 – пятка, 3 – микрометрический винт, 4 – стопор, 5 – гильза, 6 – барабан, 7 – головка с трещоткой

3.3. Стрелочный индикатор

Стрелочный индикатор (рис.3) предназначен для измерения линейных перемещений отдельных точек образцов, деталей и конструкций, вызванных их деформациями.

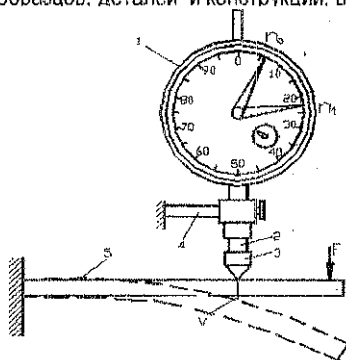


Рис.3. Индикатор

1-корпус со шкалой, 2-контактный стержень, 3-головка, 4-штатив, 5-деталь

Шкала малого круга имеет 10 делений, каждое из которых соответствует 1мм контактного стержня. Шкала большого круга имеет 100 делений с ценой одного деления $\alpha = 1 \cdot 10^{-2}$ мм или $\alpha = 1 \cdot 10^{-3}$ мм. При повороте малой стрелки на одно деление большая стрелка индикатора делает полный оборот.

Для проведения измерения индикатор закрепляется корпусом к неподвижной части конструкции или штативу 4, а головкой 3 касается детали 5 в точке, перемещение которой измеряется.

Измеренное перемещение точки обусловлено показаниями индикатора до и после деформации детали конструкции.

$$V = (n_1 - n_0) \cdot \alpha_{и} = \Delta n \cdot \alpha_{и}$$

V - измеряемое линейное перемещение,
 n_0 - отсчет по индикатору до деформации,
 n_1 - отсчет по индикатору после деформации,
 Δn - приращение показаний индикатора,
 $\alpha_{и}$ - цена деления индикатора.

3.4. Электротензометры

Электрический тензометр - это прибор, измеряющий относительную линейную деформацию на определенном участке твердого тела электрическим методом. Он состоит из трех частей: тензодатчика, усилителя и индикатора. Тензодатчик (или датчик) - это чувствительный элемент, воспринимающий измеряемую деформацию и преобразующий ее в тот или иной электрический параметр. Наиболее часто используются проволочные датчики сопротивления (тензорезисторы).

Проволочный датчик (рис. 4а) изготавливается из проволоки с большим удельным сопротивлением (константан, никром и др.) диаметром $d = 0.02-0.05$ мм и представляет собой плоскую петлеобразную решетку с выводами на концах. Проволочная решетка приклеивается к тонкой прямоугольной полоске специальной бумаги или пленки толщиной 0.05 мм, служащей для решетки основой и изолирующей ее от материала испытуемой детали.

Датчики сопротивления характеризуются базой L_0 (5-100 мм) и номинальным сопротивлением R (10-800 Ом).

В электротензометрии наиболее распространена схема четырехплечевого моста (мостик Уитстона), состоящая из четырех последовательно соединенных датчиков D_1, \dots, D_4 , источника питания E и индикатора U (рис. 4б).

Один из датчиков левого плеча моста, например, D_1 , наклеивается на исследуемую поверхность (рабочий датчик). Чтобы исключить влияние температуры, другой датчик, например, D_2 , размещается на недеформированной части детали (термокомпенсационный) (см. рис. 4в).

Для измерения деформации используются различные электрометрические приборы.

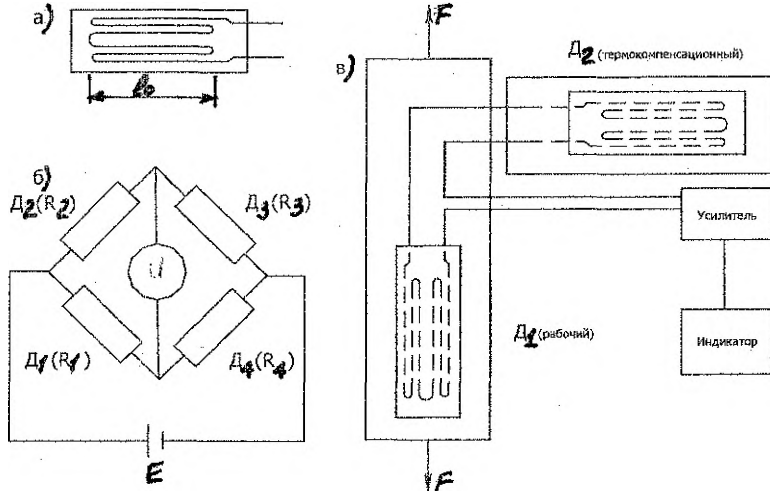


Рис. 4. Схема электротензометра

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Тема. «Испытание стального образца на растяжение».

1. Цель работы. Определение механических характеристик и характеристик пластичности малоуглеродистой стали.

II. Содержание работы

Для исследования различных материалов на растяжение изготавливаются специальные образцы. Образец должен обладать такой формой, чтобы в пределах определенной части его объема во время испытания осуществлялось центральное растяжение. Эта часть образца носит название рабочей части.

Для того чтобы результаты испытаний, проведенных различными лабораториями, можно было сравнить между собой, установлены типы и размеры образцов (ГОСТ 1479-73).

Обычно при испытаниях применяется образец, расчетная длина которого принимается равной $10d_0$, где d_0 - диаметр рабочей части образца (рис. 1.1).

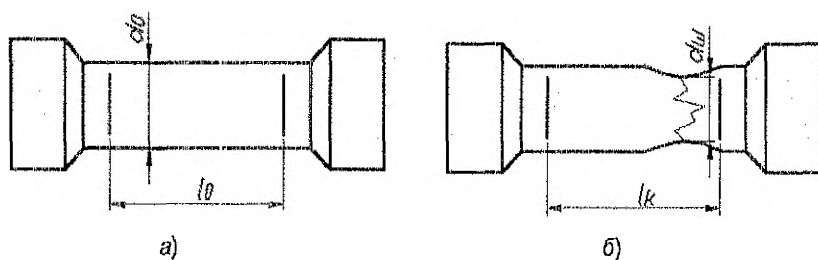


Рис. 1.1 а) образец для испытания металлов на растяжение;
б) характер разрушения образца из пластичного материала

На рабочей части нормального образца наносятся риски для того, чтобы иметь возможность после опыта судить об изменении длины образца.

Испытание производится на универсальной разрывной машине УММ-100. Она снабжена самопишущим устройством, которое автоматически вычерчивает диаграмму растяжения в определенном масштабе в координатах $F - \Delta l$. При статических испытаниях на растяжение образец деформируется при плавно возрастающей нагрузке вплоть до разрыва. Автоматически вычерчивается кривая, показывающая функциональную зависимость между силой F , действующей на образец, и вызываемой ею деформацией Δl (рис. 1.2).

Необходимо отметить, что данная диаграмма (рис. 1.2) характеризует не свойства материала, а свойства образца. Чтобы дать характеристику свойствам материала, необходимо перестроить диаграмму растяжения $F - \Delta l$ в координатах $\sigma = F/A_0$ и $\epsilon = \Delta l/l_0$, где A_0 и l_0 - соответственно площадь поперечного сечения и рабочая длина образца до нагружения. Полученная таким образом диаграмма называется диаграммой условных напряжений.

В начале испытания на диаграмме наблюдается горизонтальный и криволинейный участки, которые объясняются устранением зазоров как в механизме машины, так и между головками образца и захватами машины. Вслед за этим криволинейным участком наблюдается быстрый рост нагрузки. На диаграмме вычерчивается прямая OA , соответствующая пропорциональной зависимости между нагрузкой и удлинением образца. Чтобы исключить из диаграммы криволинейный участок, возникающий при устранении зазоров, необходимо продолжить прямолинейный участок, соответствующий закону Гука, до оси абсцисс, на пересечении которых получим точку O - начало координат нашей диаграммы.

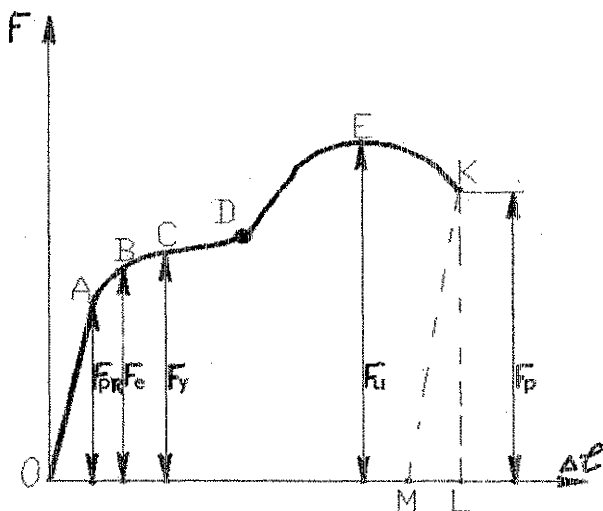


Рис.1.2. Диаграмма растяжения

Прямолинейный участок диаграммы идет до некоторой точки А, за которой прекращается действие закона Гука. Нагрузка, соответствующая точке А (F_{pr}), служит для вычисления предела пропорциональности. Пределом пропорциональности называется максимальное напряжение, до которого выполняется закон пропорциональности между напряжениями и деформациями.

$$\sigma_{pr} = \frac{F_{pr}}{A_0} \text{ [МПа]} \quad (1.1)$$

Если приостановить испытание при нагрузке меньшей F_p и разгрузить образец, то можно заметить линейную зависимость между нагрузкой и деформацией при разгрузке, которая будет выражаться той же прямой ОА. Такое положение сохраняется до некоторого предела – предела упругости. Пределом упругости называется наибольшее напряжение, до которого возникают только упругие деформации (по некоторым стандартам от 0,05 до 0,005%):

$$\sigma_e = \frac{F_e}{A_0} \text{ [МПа]} \quad (1.2)$$

Для большинства материалов разница между пределом упругости и пределом пропорциональности незначительная и поэтому часто определяют один из них.

На участке диаграммы за точкой С деформации будут расти без заметного возрастания растягивающей силы.

Участок СД диаграммы называется площадкой текучести, которая представляет собой почти прямую линию, параллельную оси деформации. В период текучести материал претерпевает существенные структурные изменения, обусловленные массовыми сдвигами отдельных частиц материала. Если образец достаточно гладок и отшлифован, то в период текучести можно заметить потускнение его поверхности, а в увеличительное стекло увидеть сетку из мелких линий, наклоненных под углом близким к 45° , так как именно по этим площадкам действуют τ_{max} . Эти линии являются результатом сдвига частиц материала образца и называются линиями Чернова.

Сила, соответствующая площадке текучести, на диаграмме обозначена F_y , а соответствующее ей напряжение называется пределом текучести. Предел текучести σ_y – это напряжение, при котором образец деформируется без увеличения растягивающей нагрузки:

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_0} \quad [\text{МПа}]. \quad (1.3)$$

Однако не все материалы имеют ярко выраженную площадку текучести на кривой растяжения. Такие материалы как дюралюминий, легированные стали, стали с повышенным содержанием углерода и другие почти не имеют площадки текучести. В этом случае рекомендуется определять так называемый условный предел текучести – это напряжение, при котором относительное удлинение достигает 0,2% от длины расчетной части образца. За площадкой текучести нагрузка вновь начинает расти, так как материал упрочнился, приобрел возможность опять сопротивляться возрастающей нагрузке. Прямой пропорциональности уже нет, а диаграмма имеет криволинейный характер с максимумом в точке E. Наибольшая нагрузка (F_u), которую может выдержать образец при растяжении, носит название предельной, а условное напряжение (σ_u), соответствующее этой нагрузке, называется пределом прочности или временным сопротивлением материала:

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_0} \quad [\text{МПа}]. \quad (1.4)$$

В процессе опыта можно наблюдать, что за пределом прочности деформации в образце распространяются не равномерно по всему объему, а сосредотачиваются в одном сечении, называемом шейкой. Шейка – это резкое сужение сечения в каком-либо месте образца. При уменьшении сечения требуется меньшая сила для разрыва, поэтому за пределом прочности нагрузка убывает и довольно быстро наступает разрушение.

Следует отметить, что истинное напряжение, подсчитанное с учетом площади поперечного сечения шейки, все время возрастает вплоть до разрушения образца:

$$\sigma_p = \frac{F_p}{A_w} \quad [\text{МПа}]. \quad (1.5)$$

где A_w – площадь шейки,

F_p – нагрузка, при которой происходит разрыв образца (т. К диаграммы).

По диаграмме растяжения можно подсчитать полное удлинение образца в момент разрыва, оно будет выражаться отрезком OL (рис. 1.2). Чтобы выделить только остаточную или только упругую деформации, достаточно из точки К диаграммы растяжения (рис.1.2) провести прямую, параллельную прямолинейному участку диаграммы OA. Тогда отрезок OM будет представлять остаточную деформацию образца, а отрезок ML – упругую. Упругие деформации исчезают в момент разрыва образца, а остаточные остаются, благодаря чему удлинение, полученное непосредственным измерением разорванного образца, соответствует отрезку OM диаграммы.

Интересен характер разрушения образца из пластичного материала (рис. 1.1б).

В месте разрыва образуется «чашечка», дно которой перпендикулярно к оси образца, а края наклонены под углом $\alpha = 45^\circ$ к его оси. Это объясняется тем, что в плоскости поперечного сечения напряжения распределены по сложному параболическому закону с максимумом по оси образца. Поэтому разрыв образца начинается в центральной части. Оставшаяся кольцевая часть образца разрушается от наибольших касательных напряжений.

Кроме механических характеристик материала, по результатам испытания на разрыв определяются также характеристики пластичности: относительное удлинение после разрыва и относительное сужение образца.

Относительное удлинение:

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100\% \quad (1.6)$$

Для определения длины l_k расчетной части образца после разрыва обе его части плотно складываются и производится замер.

Относительное сужение:

$$\delta = \frac{A_0 - A_{ш}}{A_0} \cdot 100\% \quad (1.7)$$

где $A_{ш}$ — площадь шейки.

Для определения $A_{ш}$ обе части образца после разрыва плотно складываются и измеряется минимальный диаметр шейки в двух взаимно перпендикулярных направлениях, затем, как среднее арифметическое этих двух замеров, вычисляется площадь шейки $A_{ш}$.

III. Порядок проведения испытаний

1. Измеряют диаметр образца (до испытания) штангенциркулем и результаты измерений заносят в табл. 1.
2. Вычисляют первоначальную площадь рабочей части образца A_0 .
3. Наносят риски, обозначая расчетную длину образца $l_0 = 10d_0$.
4. Устанавливают образцы в захваты разрывной машины.
5. Нагружают образцы и наблюдают за вычерчиваемой диаграммой; нагрузка увеличивается до полного разрушения образца.
6. В процессе нагружения в таблицу 1 заносят значения нагрузок, соответствующих характерным точкам на диаграмме.
7. Измеряют размеры образца после разрыва и заносят их в таблицу.

IV. Обработка результатов эксперимента

1. Отмечают на диаграмме характерные точки, соответствующие нагрузкам F_{pr} , F_y , F_u , F_p .
 2. Устанавливают масштаб диаграммы.
 3. Вычисляют механические характеристики σ_{pr} , σ_y , σ_u , σ_p , σ^4_p .
- Результаты заносят в табл. 1.
4. Измеряют расстояние между рисками после разрыва образца l_k , плотно сложив две его части, а также диаметр шейки $d_{ш}$.
 5. Вычисляют относительное остаточное удлинение образца и результаты вычислений заносят в табл. 1.
 6. Вычисляют относительное остаточное сужение площади сечения в месте разрыва образца и результаты измерений заносят в табл. 1.
 7. Строят диаграмму условных напряжений (см рис 1.3).

Таблица 1.

| Материал | Размер образца | | | | | | F_{pr} | F_y | F_u | F_p | Механические характеристики | | | | Хар-ки пластичности | |
|----------|----------------|----------------|-------|-------------|----------------|---------|----------|-------|-------|-------|-----------------------------|------------|------------|--------------|---------------------|--------|
| | До опыта | | | После опыта | | | | | | | σ_{pr} | σ_y | σ_u | σ^4_p | δ | ϕ |
| | d_0 | l_0 | A_0 | $d_{ш}$ | l_k | $A_{ш}$ | | | | | МПа | | | | | |
| М | М | М ² | М | М | М ² | Н | Н | Н | Н | | | | | | | |
| Сталь | | | | | | | | | | | | | | | | |

По результатам, полученным из опыта, можно судить о качестве материала. Пользуясь справочными данными по механическим характеристикам, устанавливают марку материала и в соответствии с этим решают, в каких конструкциях этот материал может быть применен.

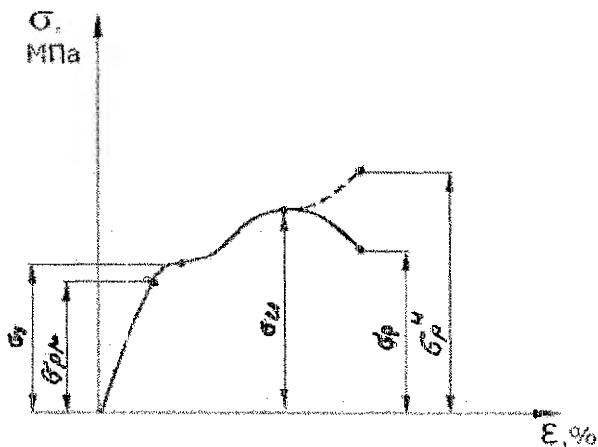


Рис 1.3. Диаграмма условных напряжений

Контрольные вопросы

1. Какие требования предъявляются к размерам экспериментального образца?
2. Назовите известные вам механические характеристики прочности и пластичности. Дайте их определения.
3. Как вы определяли после проведения опыта механические характеристики прочности и пластичности?
4. Истинные или условные значения напряжений вы получили при подсчете механических характеристик прочности?
5. Покажите вид диаграмм истинных и условных напряжений, соответствующих проведенному опыту.
6. Как по диаграмме растяжения образца определить величину остаточной и упругой деформации в любой момент испытания?
7. Как остаточные деформации распределялись по длине образца до того момента испытания, когда начала развиваться шейка?
8. В чем состоит суть явления наклепа? Покажите вид диаграмм растяжения не наклепанного и наклепанного материала на примере проведенного в работе опыта.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Тема. «Определение модуля продольной упругости и коэффициента поперечной деформации».

I. Цель работы. Ознакомление с методикой экспериментального определения модуля упругости E и коэффициента Пуассона ν .

II. Содержание работы

Модулем упругости E при растяжении называется коэффициент пропорциональности между нормальным напряжением σ и соответствующим ему относительным удлинением ε :

$$\sigma = E\varepsilon.$$

Модуль упругости E отражает сопротивляемость материала упругим деформациям при растяжении (сжатии). Чем больше эта величина, тем меньше растяжение (сжатие) стержня при прочих равных условиях (длина, площадь поперечного сечения A , сила F). Это следует из формулы, выражающей закон Гука:

$$\Delta l = \frac{F \cdot l}{E \cdot A}.$$

Модуль упругости E является одной из основных упругих характеристик материала. Он имеет важное значение для вычисления упругих деформаций различных элементов конструкций.

Модуль упругости находится из зависимости:

$$E = \frac{F \cdot l}{\Delta l \cdot A} = \frac{F}{\varepsilon \cdot A}. \quad (2.1)$$

Коэффициентом поперечной деформации или коэффициентом Пуассона называется отношение по модулю относительной поперечной деформации образца при растяжении или сжатии (ε') к его относительной продольной деформации (ε), найденных в пределах пропорциональности

$$\nu = \left| \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \right| = \left| \frac{\Delta b \cdot l}{b \cdot \Delta l} \right|, \quad (2.2)$$

где b – ширина сечения образца;

l – расчетная длина образца (база индикатора часового типа). Это отношение для каждого материала в пределах упругости является величиной постоянной. E и ν характеризуют упругие свойства материала.

В данной работе для испытания используется образец прямоугольного поперечного сечения. Так как модуль упругости E и коэффициент Пуассона сохраняют свои постоянные значения пока справедлив закон Гука, то величина максимальной нагрузки определяется из соотношения

$$F_{\max} < \sigma_{pr} \cdot A.$$

Задавшись числом нагружений n , можно подсчитать интервал нагрузки

$$\Delta F = \frac{F_{\max}}{n}.$$

Для определения модуля упругости E и коэффициента Пуассона ν может быть использован эксперимент: абсолютные продольные и абсолютные поперечные деформации измеряются индикаторами часового типа. При этом для определения абсолютной поперечной деформации, которая всегда меньше продольной, устанавливают индикатор 2 часового типа с более мелкой ценой деления (0,001 мм), чем индикатор 1 для измерения абсолютной продольной деформации (0,002 мм). Схема установки для определения модуля упругости E и коэффициента Пуассона ν показана на рис. 2.1.

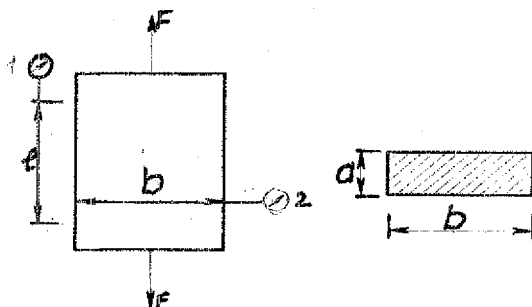


Рис.2.1 Схема установки

III. Порядок проведения эксперимента

Замеряются размеры сечения образца b и a , расчетная длина L . Определяется величина максимальной нагрузки: $F_{\max} = \sigma_{pr} \cdot A$; задаются числом нагружений и под- считывают интервал нагрузки

$$\Delta F = \frac{F_{\max}}{n}$$

Образец закрепляется в захватах испытанной нагрузкой, равной $(0,1 - 0,2) F_{\max}$ для устранения влияния проскальзывания и обжатия образца. Эта нагрузка принимается условно за нуль.

При начальной нагрузке производятся первые отсчеты по индикаторам 1 и 2 (рис. 2.1). По индикатору 1 определяют абсолютную продольную деформацию Δl , а по индикатору 2 – абсолютную поперечную деформацию Δb . Затем нагрузку увеличивают равными ступенями так, чтобы число ступеней нагружения было равным n . Для каждой ступени нагружения производятся отсчеты по индикаторам и результаты записываются в журнале наблюдений (табл. 1).

IV. Обработка результатов эксперимента

По данным опыта строятся графики $F = f(\Delta l)$, которые наглядно иллюстрирует пря- мую пропорциональность между нагрузкой и деформацией образца.

По формулам (2.1) и (2.2) для каждой ступени нагружения определяют модуль упру- гости E и коэффициент Пуассона ν и результаты заносят в таблицу 1.

Таблица 1.

| Мате- риал | Размеры образца | | | A м ² | F Н | Абсолютная деформация | | E МПа | ν | E_{cp} МПа | ν_{cp} |
|------------|-----------------|---------|-------|------------------|-----|-----------------------|----------------|-------|-------|--------------|------------|
| | a (м) | b (м) | l (м) | | | Δl (м) | Δb (м) | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Сталь | | | | | | | | | | | |
| Резина | | | | | | | | | | | |
| Пробка | d (м) = | l (м) = | | | | | | | | | |

Контрольные вопросы

1. Какие упругие постоянные определяются в этой работе? Дайте их определения.
2. Опишите методику проведения опыта по определению упругих постоянных материала.
3. Чем можно подтвердить, что в процессе испытания имеют место только упругие деформации и что закон Гука не нарушается?
4. Какова формула для определения коэффициента Пуассона?
5. Как при обработке результатов подсчитывается модуль продольной упругости материала образца?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Тема. «Испытание материалов на сжатие».

Цель работы. Изучение свойств пластичных, хрупких и анизотропных материалов при испытании на сжатие.

II. Содержание работы

Не все материалы в одинаковой степени сопротивляются растяжению и сжатию. Такие материалы, как чугун, дерево, камень плохо сопротивляются растяжению, но очень хорошо работают на сжатие. Для получения механических характеристик хрупких и анизотропных материалов необходимо производить испытания и на сжатие. Причем дерево, как анизотропный материал, испытывается на сжатие вдоль и поперек волокон. При испытании хрупких материалов определяется предел прочности, который имеет большое практическое значение, так как такие материалы обычно применяются для изготовления деталей, претерпевающих деформацию сжатия.

Пластинчатые же материалы на сжатие испытываются редко, в основном с исследовательской целью (ГОСТ 25503-80). Явление простого сжатия можно получить только в сравнительно коротких образцах. В длинных образцах одновременно с сжатием может возникнуть так называемый продольный изгиб. Чтобы избежать этого явления, образцы из металлов изготавливаются в виде цилиндров с высотой l_0 не превышающей трех диаметров [$l_0 = (1+3)d_0$]. Для прочих материалов – дерево, камень – образцы изготавливаются в виде стандартных кубиков.

1. Сжатие образца из малоуглеродистой стали

Образцы для испытания пластичных материалов изготавливаются в виде коротких цилиндров (ГОСТ 8817-80), в соответствии с которым диаметр образца $d_0 = 20 - 30$ мм, а высота его $l_0 = (1+3)d_0$ (рис. 3.1).

При сжатии возникают силы трения между плитами испытательной машины и торцами образца (рис.3.2), которые препятствуют свободному расширению прилегающей к торцам части материала. Образец при этом принимает бочкообразную форму. Смазыванием опорных поверхностей образца маслом или парафином можно значительно уменьшить силы трения. Кроме того, влияние сил трения можно уменьшить, применив трубчатый образец для испытания на сжатие пластичных материалов. Такой образец представляет собой трубу с коническими торцами.

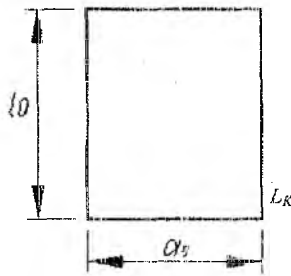


Рис. 3.1

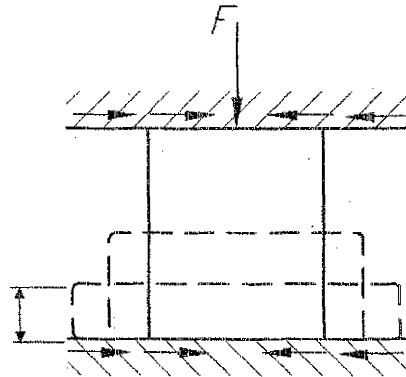


Рис. 3.2

Силы трения при сжатии образцов

Испытание производится на машине ПММ-125. Перед установкой образца между плитами испытательной машины он подвергается измерению и внешнему осмотру. При осмотре обращается внимание на параллельность торцов образца и на качество между плитами испытательной машины и постепенно нагружается непрерывно возрастающей нагрузкой. Самопишущий прибор машины при нагружении автоматически вычерчивает диаграмму сжатия в координатах $F - \Delta l$ (рис. 3.3).

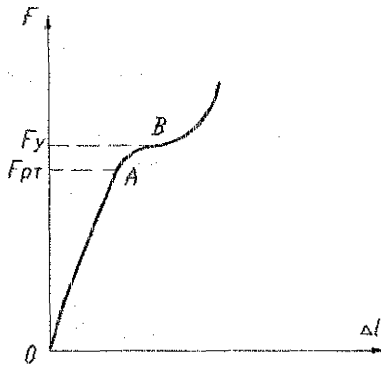


Рис.3.3.

Диаграмма сжатия малоуглеродистой стали

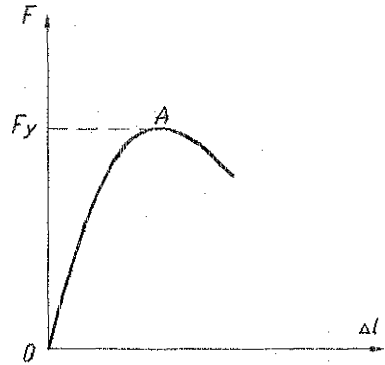


Рис.3.4.

Диаграмма сжатия чугуна

До некоторой точки A на диаграмме наблюдается, как при растяжении, прямая линия; существует пропорциональная зависимость между нагрузкой и укорочением. Ордината точки A соответствует пределу пропорциональности малоуглеродистой стали. Начиная от точки A , появляются уже пластические деформации, которые за точкой B растут без увеличения нагрузки. Однако площадка текучести при сжатии пластического ма-

териала выявляется слабо. В дальнейшем не наблюдается падение нагрузки, как при растяжении, а диаграмма непрерывно идет вверх по некоторой кривой. Это объясняется тем, что за пределом пропорциональности появляются заметные остаточные деформации. Образец укорачивается, сечение его увеличивается и он становится способным выдерживать все большую нагрузку. Довести до разрушения образец из пластичного материала не представляется возможным. Испытываемый образец сжимается в тонкий диск без видимых признаков разрушения (рис. 3.2). Поэтому не удастся найти разрушающую нагрузку, а следовательно, и предел прочности пластичного материала при сжатии. При сжатии пластичного материала можно получить предел пропорциональности и предел текучести:

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

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_0}, \quad (3.2)$$

где A_0 – первоначальная площадь образца.

Заметим, что значение предела пропорциональности и предела текучести для пластичного материала при сжатии и при растяжении практически одинаково.

При сжатии пластичных материалов, как и при растяжении, имеет место наклеп.

2. Сжатие образца из чугуна

При испытании чугуна на сжатие применяются цилиндрические образцы. ГОСТ 2055-81 устанавливает следующие соотношения между размерами образцов для испытания чугуна: $d_0 = 10 \div 25$ мм, $l_0 = (1 \div 3)d_0$. Порядок испытания чугунного образца на сжатие аналогичен порядку испытания на сжатие стального образца.

При постепенной возрастающей нагрузке самопишущий прибор машины автоматически вычерчивает диаграмму сжатия в координатах $F - \Delta l$ (рис. 3.4).

Уже в самом начале диаграмма не имеет линейного участка: отсутствует площадка текучести. При достижении максимальной нагрузки она резко обрывается. Хрупкие материалы при сжатии, как и при растяжении, разрушаются при малых деформациях. В процессе испытания образец укорачивается и приобретает слабо выраженную бочкообразную форму ввиду наличия трения по торцам образца. В момент, когда нагрузка достигает своего максимального значения, образец разрушается, при этом на его поверхности появляется ряд наклонных трещин под углом $45^\circ - 50^\circ$. Характер разрушения показан на рис. 3.5.

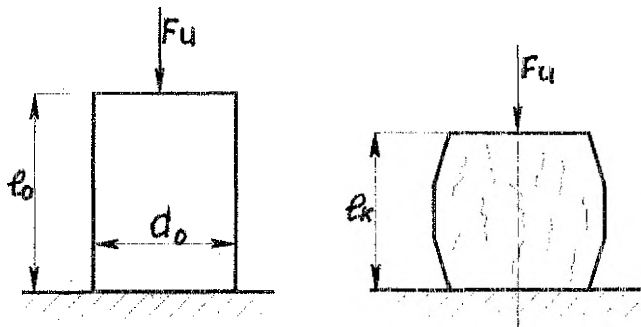


Рис.3.5. Характер разрушения хрупкого образца

При смазывании торцов образца парафином характер разрушения будет иным. Образец не будет принимать бочкообразную форму, а разрушение произойдет путем образования продольных трещин по его высоте. Разрушение чугуна происходит внезапно, чем объясняется резкое падение нагрузки, характерное для хрупких материалов. Испытание на сжатие хрупких материалов дает возможность получить предел прочности материала на сжатие.

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_0} \quad (3.3)$$

Предел прочности для хрупких материалов при сжатии значительно больше, чем при растяжении.

3. Сжатие древесины вдоль и поперек волокон

При испытании деревянных образцов получается резко отличные результаты в зависимости от направления приложения нагрузки по отношению к волокнам; так как дерево является анизотропным материалом, поэтому необходимо производить испытания дерева вдоль и поперек волокон. Для испытания изготавливаются кубики стандартных размеров 50 × 50 мм, которые после обмера и внешнего осмотра подвергаются сжатию до разрушения; внешний осмотр должен производиться тщательно, ибо наличие косослоя и сучков изменяют работу материала.

При испытании производится запись результатов испытания в виде диаграммы F- Δl. Характер разрушения деревянного кубика зависит от направления приложения силы по отношению к волокнам. Образец, сжимаемый вдоль волокон, до разрушения претерпевает сравнительно небольшие остаточные деформации. После достижения нагрузкой наибольшего значения F_u (рис. 3.6) начинается разрушение образца с последующим падением нагрузки (кривая I). Разрушение происходит с образованием поперечных складок и обмятия торцов. При наличии сучков в древесине одновременно с этим могут появиться и продольные трещины. Вид разрушения кубика при сжатии вдоль волокон показан на рис. 3.7.

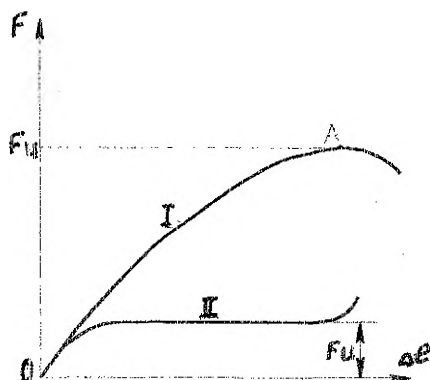


Рис.3.6. Диаграмма сжатия дерева

По данным опыта определяется предел прочности древесины при сжатии вдоль волокон по формуле (3.3).

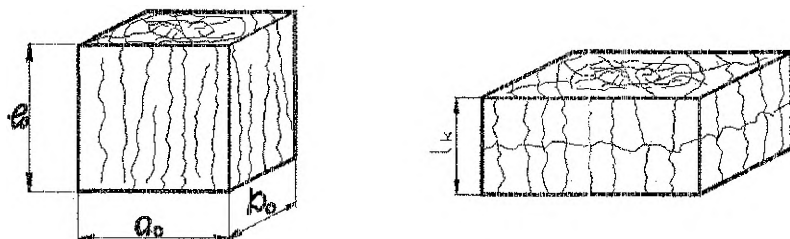


Рис. 3.7. Характер разрушения деревянного кубика при сжатии вдоль волокон

При испытании дерева поперек волокон картина получается несколько иная. Начальный участок диаграммы представляет собой наклонную прямую до нагрузки F_{pr} соответствующей пределу пропорциональности (рис. 6, кривая II). Затем диаграмма приобретает вид слабо изогнутой кривой, почти параллельной оси абсцисс. Кубик быстро деформируется при слабом возрастании нагрузки. Если древесина не имеет порожков, то разрушение кубика не наблюдается, он лишь значительно спрессовывается (рис. 6). Принято считать, что значительный рост деформации при слабом возрастании нагрузки указывает на то, что несущая способность образца исчерпана. За разрушающую нагрузку принимают ту нагрузку, при которой кубик сжимается на $1/3$ своей первоначальной высоты.

В результате испытания вычисляется предел прочности древесины при сжатии поперек волокон. Следует заметить, что прочность древесины вдоль волокон в 8-10 раз выше, чем прочность поперек волокон.

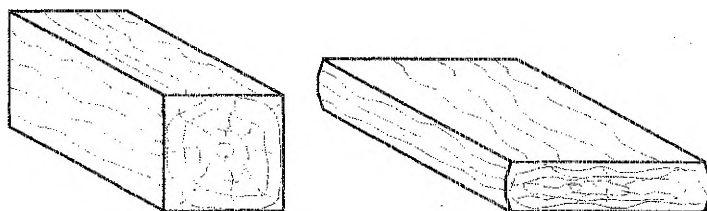


Рис. 3.8. Характер разрушения деревянного кубика при сжатии поперек волокон

III. Порядок проведения испытаний

1. Производят измерение образцов штангенциркулем или микрометром, испытания и результаты вычислений заносят в табл. 1.
2. Вычисляют первоначальные площади поперечного сечения и результаты вычислений заносят в табл. 1.
3. Устанавливают образцы между плитами испытательной машины.
4. Нагружают образцы и наблюдают за вычерчиваемой диаграммой. Нагрузка дается до полного разрушения образцов.

IV. Обработка результатов испытаний

1. Измеряют высоту h после испытания и результаты измерений заносят в таблицу 1.
2. Для пластичных материалов из диаграммы определяют силы F_{pr} и F_y , для хрупких материалов – силу F_u и их значения заносят в таблицу 1.

3. По формулам (3.1-3. 3) определяют σ_{pr} , σ_y , σ_u , результаты вычислений заносят в таблицу 1.

4. По формуле $\varepsilon = \frac{l_o - l_k}{l_o} \cdot 100\%$ определяют относительную деформацию и результаты вычислений заносят в таблицу 1.

5. Строятся диаграммы условных напряжений для стали, чугуна и древесины.

Таблица 1.

| Материал | Размеры образцов | | | | F_{pr} Н | F_y Н | F_u Н | σ_{pr} МПа | σ_y МПа | σ_u МПа | δ % |
|------------------------|------------------|------------|-------------------------|------------|---------------|------------|------------|----------------------|-------------------|-------------------|---------------|
| | до опыта | | после опыта | | | | | | | | |
| | C_0 М | l_0 М | A_0 М ² | l_k М | | | | | | | |
| Сталь | | | | | | | | | | | |
| Чугун | | | | | | | | | | | |
| Дерево вдоль волокон | | | | | | | | | | | |
| Дерево поперек волокон | | | | | | | | | | | |

Контрольные вопросы

1. По каким признакам материалы делят на пластичные и хрупкие?
2. Какие из испытываемых образцов вели себя при сжатии как пластичные, а какие – как хрупкие?
3. Какие механические характеристики удалось определить в результате испытания на сжатие образцов из пластичной стали, чугуна, дерева вдоль и поперек волокон?
4. Как изменилась форма образцов из стали и чугуна в процессе испытания? Чем можно это объяснить?
5. Как ориентированы трещины, образовавшиеся при разрушении чугунного образца? Чем можно объяснить такую ориентацию трещин?
6. Какие материалы называют изотропными, а какие анизотропными?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Тема. «Испытание материалов на срез».

I. Цель работы. Определить предел прочности стального образца на срез и деревянного образца на скалывание.

II. Содержание работы

Деформация чистого сдвига является частным случаем плоского напряженного состояния, когда по граням прямоугольного элемента, выделенного в окрестностях некоторой точки нагруженного тела, действуют только касательные напряжения.

Методы расчета болтовых, заклепочных соединений, врубок опираются на теорию чистого сдвига. Условие прочности при сдвиге записывается:

$$\tau = \frac{F}{A_{cp}} \leq R_{cp}, \quad (4.1)$$

где R_{cp} – расчетное сопротивление материала на срез. Теоретически расчетное сопротивление R_{cp} -- определяется в зависимости от принятой теории прочности.

Так по теории наибольших касательных напряжений $R_{cp} = 0,5 \cdot R_p$ где R_p -- расчетное сопротивление материала при растяжении, по энергетической теории прочности $R_{cp}^IV = \frac{R_p}{\sqrt{3}}$.

Приспособление для испытания металла на срез (рис. 4.1) состоит из проушины и серьги. Испытываемый образец закладывают в приспособление (рис. 4.1), которое закрепляется в захватах разрывной машины УММ-100, и загружают постепенно возрастающей нагрузкой вплоть до разрушения образца. Образец будет перерезаться по двум площадкам:

$$\tau_{cp} = \frac{F}{2A_{cp}}, \quad A_{cp} = \frac{\pi d_0^2}{4}$$

Кроме того, образец будет сминаться по цилиндрическим поверхностям. Максимальные напряжения смятия:

где $\sigma_{CM} = \frac{F_u}{A_{CM}};$ (4.2)

$$A_{CM} = t_{min} d_0. \quad (4.3)$$

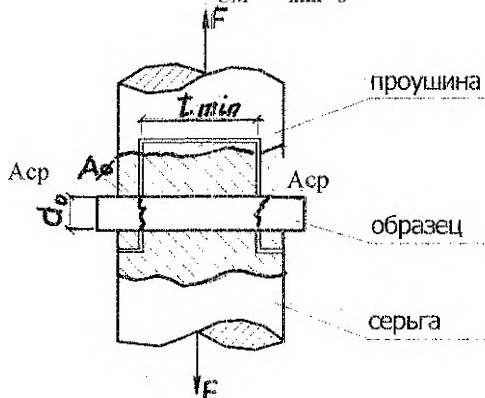


Рис.4.1. Приспособление для испытания металла на срез

При испытании дерева на скалывание образец устанавливается в приспособление (рис. 4.3), которое помещается под плиты машины ПММ-125 и загружается непрерывно возрастающей нагрузкой вплоть до разрушения.

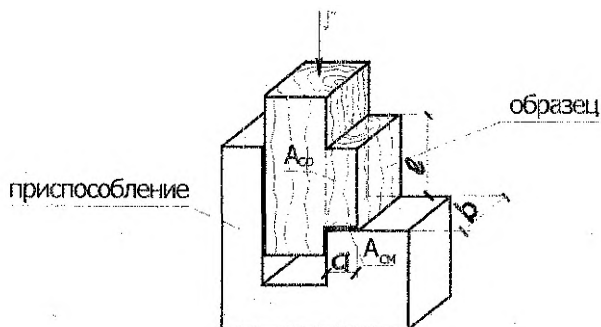


Рис. 4.2. Приспособление и образец для испытания дерева на скалывание



Напряжения скалывания определяют по формуле

$$\tau_{ск} = \frac{F_v}{A_{ск}}, \quad (4.4)$$

где $A_{ск} = b \cdot l$ (м²).

Максимальные напряжения смятия определяются по формуле

$$\sigma_{см} = \frac{F_u}{A_{см}}, \quad (4.5)$$

где $A_{см} = a \times b$ (м²).

III. Порядок проведения испытаний

1. Производят измерение образцов штангенциркулем и результаты измерений заносят в табл. 1.

2. Определяют площади среза, смятия для металлического образца, площадь скалывания и смятия деревянного образца и результаты вычислений заносим в таблицу 1.

3. Образец помещают в приспособление, которое устанавливается в испытательные машины.

4. Производят нагружение образца до разрушения и записывают величины нагрузок.

IV. Обработка результатов испытаний

1. По формулам (4.1, 4.4) определяют предел прочности на срез металлического образца и предел прочности на скалывание деревянного образца.

2. Полученные пределы прочности сравнивают с пределами прочности, вычисленными по одной из теорий прочности.

3. По формулам (4.2, 4.5) определяют напряжения смятия для металлического и деревянного образцов.

4. Сравнивают напряжения смятия с пределом прочности на срез и скалывание в данном конкретном опыте.

Таблица 1.

| Материал | Размеры образцов, м | | | | A _{ср} | A _{ск} | A _{см} | τ _{ср} , МПа | σ _{см} , МПа | τ _{ск} , МПа |
|----------|---------------------|---|---|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | d ₀ | a | b | l | | | | | | |
| Сталь | | | | | | | | | | |
| Дерево | | | | | | | | | | |

Контрольные вопросы

1. Опишите схему приспособления, применяющегося для испытания стального образца на срез.

2. Покажите, по каким площадкам происходит срез, скалывание и смятие образцов.

3. Как определялась на опыте и чему равна величина предела прочности образцов при срезе и скалывании?

4. Как определялись напряжения смятия для стального и деревянного образцов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5.

Тема. Испытание круглого стального стержня на кручение и винтовых цилиндрических пружин с малым шагом винтов.

I. Цель работы. Определение модуля сдвига стали и сравнение его с табличным значением.

II. Содержание работы

Для расчета конструктивных элементов, работающих на срез и кручение, необходимо иметь модуль сдвига (G) для различных материалов, который определяется опытным путем.

Испытание круглого стального стержня производится на следующей установке (рис.5.1.)

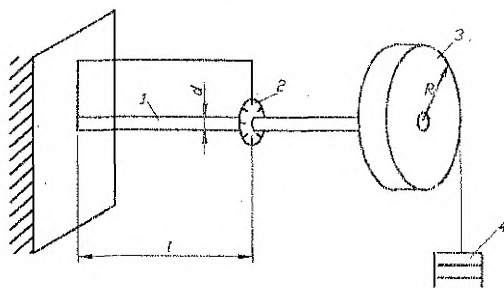


Рис. 5.1. Схема установки на кручение
1-опытный образец, 2-измеритель угла закручивания, 3-колесо для создания скручивающего момента, 4-нагрузкатель

Модуль сдвига G определяется из формулы:

$$\varphi = \frac{T \cdot L}{G \cdot J_p}, \quad (5.1)$$

откуда $G = \frac{T \cdot L}{\varphi \cdot J_p},$

где $T = F \cdot R$ - крутящий момент,

$$J_p = \frac{\pi d^4}{32} - \text{полярный момент инерции.}$$

Угол закручивания на установке определяется в градусах (φ^0), поэтому в формуле угол φ должен быть

$$\varphi = \varphi^0 \cdot \frac{\pi}{180^0}.$$

Окончательная формула для определения модуля сдвига будет иметь вид:

$$G = \frac{F \cdot R \cdot L \cdot 180^0 \cdot 32}{\varphi^0 \cdot \pi^2 \cdot d^4}. \quad (5.2)$$

III. Порядок проведения испытаний

1. Подвешивается груз (4) и измеряется угол закручивания (φ^0) не менее трех раз.
2. Измеряются параметры установки L , R , d .
3. Полученные данные подставляют в формулу (5.2) и определяют G .
4. Результаты заносят в таблицу 1.

Испытания пружины производятся на установке, показанной на рис. 5.2. При действии на пружину растягивающих или сжимающих сил F в поперечном сечении витка возникает крутящий момент T и поперечная сила Q . При расчетах учитывают только деформацию кручения и пренебрегают сдвигом. В этом случае осадка пружины определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{4F \cdot R^3 \cdot n}{G \cdot r^4}, \quad (5.3)$$

откуда

$$G = \frac{4F \cdot R^3 \cdot n}{\lambda \cdot r^4},$$

где F - заданная нагрузка; r - радиус проволоки, из которой свита пружина;
 R - средний радиус витка пружины, определяемый по формуле:

$$R = \frac{D-d}{2}, \quad (5.4)$$

D- наружный диаметр пружины;
d- диаметр проволоки, из которой свита пружина;
n- количество витков пружины; λ- осадка пружины, определяемая из опыта.

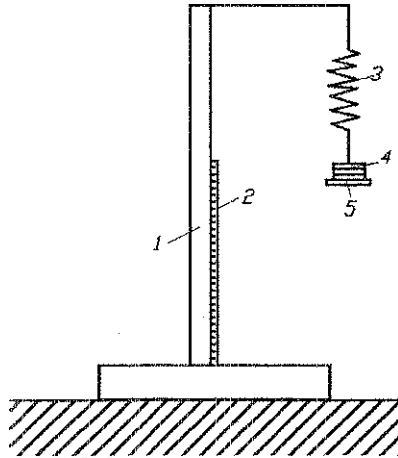


Рис.5.2. Экспериментальная установка
1-стойка, 2-линейка, 3-пружина, 4-груз, 5-подвеска

Порядок проведения испытаний

1. С помощью штангенциркуля измеряется диаметр витка пружины (D) и диаметр проволоки (d) с точностью до 0,1мм.
2. По формуле (5.4) определяется средний радиус витка пружины.
3. Определяют число витков пружины n, считая и неполные.
4. Загружают подвеску (5) сменными грузами (4), каждый раз измеряя по линейке (2) осадку пружины.
5. Результаты измерений и вычислений заносятся в таблицы.

Таблица 1.

| № п/п | R, мм | D, мм | L, мм | F, Н | φ^0 | G, МПа | Примечание |
|-----------------|-------|-------|-------|------|-------------|--------|------------|
| 1 | 85 | 5 | 400 | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| G _{ср} | | | | | | | |

Таблица 2.

| № п/п | R, мм | r, мм | n | F, Н | L ₀ , мм | L, мм | λ, мм | G, МПа | Примеч. |
|-----------------|-------|-------|---|------|---------------------|-------|-------|--------|---------|
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| G _{ср} | | | | | | | | | |

Выводы по работе

1. Сделать заключение: подчиняется ли материал закону Гука.
2. Сравнить опытные значения модуля G с табличными данными.

Контрольные вопросы

1. Как формулируется закон Гука при сдвиге?
2. Что такое угол закручивания?
3. Опишите методику проведения опытов.
4. Перечислите, какие упругие постоянные материалов вам известны. Связь между ними.
5. Как определить осадку пружины?
6. Что называется жесткостью при кручении?

Какие напряжения возникают в поперечном сечении круглого стержня?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Тема. «Определение коэффициента концентрации напряжений поляризационно-оптическим методом».

Цель работы. Ознакомиться с поляризационно-оптическим методом определения коэффициента концентрации напряжений.

II. Содержание работы

Формула $\sigma = \frac{N}{A}$ для определения напряжений при растяжении (сжатии) справедлива только в том случае, когда сечение отстоит на достаточном расстоянии от мест резкого изменения формы тела (выточек, отверстий и т.д.).

В местах резкого изменения формы тела, у надрезов и трещин наблюдается резкое увеличение напряжений, которое называется концентрацией напряжений (рис. 6.1).

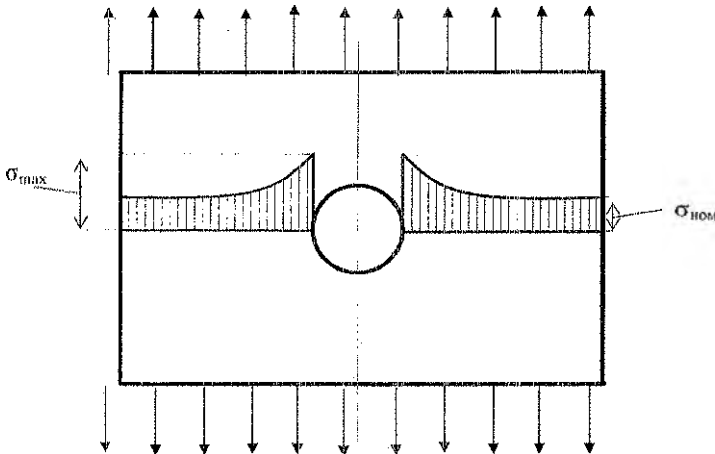


Рис. 6.1. Концентрация напряжений

В общем случае теоретическим коэффициентом концентрации напряжений называется отношение максимального напряжения, вычисленного с учетом концентрации (в предположении совершенной упругости), к номинальному напряжению в той же точке.

$$\alpha = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\text{ном}}} \quad (6.1)$$

За номинальное напряжение принимают такое напряжение, которое определяется по обычным формулам сопротивления материалов без учета эффекта концентрации. Обычно номинальное напряжение определяют для ослабленного сечения. Так, например, для полосы, ослабленной отверстием (рис. 6.1).

$$\sigma_{\text{ном}} = \frac{F}{A_{\text{нетто}}} \quad (6.2)$$

Очевидно, что теоретический коэффициент концентрации напряжений не может быть меньше единицы.

Как правило, коэффициент концентрации напряжений определяют экспериментальным путем.

Поляризационно-оптический метод основан на том, что некоторые прозрачные материалы при деформации становятся статически анизотропными, в деформированном состоянии они приобретают свойство двойного лучепреломления (стекло, целлулоид, бакелит и др.). В оптическом методе исследуется не сама деталь, а ее модель, изготовленная из такого материала. Модель помещается в оптическую установку, называемую полярископом, где она просвечивается пучком поляризованного света. Поляризатор пропускает колебания в строго определенной плоскости, а осставляющие колебания, перпендикулярные ей, гасит.

На рис. 6.2 схематически показано расположение основных частей полярископа с плоской поляризацией света.

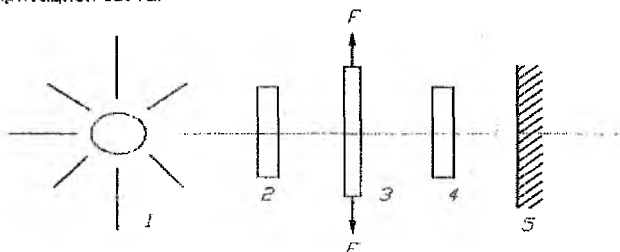


Рис. 6.2. Схема установки.

1 - источник света; 2 - поляризатор; 3 - модель; 4 - анализатор; 5 - экран.

Одними из основных частей полярископа являются поляризатор и анализатор, но в рабочем положении повернутые так, что их плоскости поляризации взаимно перпендикулярны. В этом случае луч света, прошедший сквозь поляризатор, будет погашен анализатором, если модель отсутствует или она не нагружена. Это положение поляризатора и анализатора называют установкой на темноту.

Если к модели приложить нагрузку, то она будет деформироваться, материал модели станет оптически анизотропным, и она будет вести себя, как кристаллическое тело, обладающее свойством двойного лучепреломления.

Другими словами, при нагрузке модель приобретает свойство поворачивать в зависимости от величины напряжений плоскость поляризации проходящего через нее света. Тогда свет с повернутой плоскостью поляризации частично проходит через анализатор, давая на экране изображение исследуемой модели. Интенсивность изображения и его цвет зависят от величины напряжений.

III. Порядок проведения испытаний

С помощью штангенциркуля с точностью до 0,1 измеряют размеры поперечного сечения образцов из прозрачного материала. Образец без концентраторов напряжений принимают за эталонный, образцы с концентраторами – модели.

Закрепляют эталон в захваты разрывной машины; устанавливают поляризатор и анализатор на темноту. Загружают эталон и ведут наблюдения за экраном. При появлении по всему эталону на экране обусловленного ранее цвета записывают величину соответствующей нагрузки.

Подобным образом испытывают модели. В моделях на экране цвет, соответствующий испытаниям эталона, появляется раньше у краев концентратора напряжений. Разделив нагрузку, соответствующую испытаниям эталона, появляется раньше у краев концентратора напряжений. Разделив нагрузку, соответствующую данному цвету эталона или модели на площадь поперечного сечения эталона или модели, находим среднее напряжение в моделях и напряжение в поперечном сечении эталона:

$$\sigma_s = \frac{F}{A_s} \text{ [Н/м}^2\text{]} \quad \sigma_m = \frac{F}{A_m} \text{ [Н/м}^2\text{]}$$

Коэффициент испытаний заносится в табл. 1.

Таблица 1.

| Эскиз | A, м ² | F, Н | σ , МПа | α |
|-------|-------------------|------|----------------|----------|
| | | | | |

Контрольные вопросы

1. Дайте определение теоретического коэффициента концентрации напряжений.
2. Опишите принципиальную схему установки для экспериментального определения коэффициента концентрации напряжений поляризационно-оптическим методом.
3. Из каких материалов изготавливаются исследуемые модели. Какими свойствами эти материалы обладают?
4. Как определялись экспериментальные значения коэффициентов концентрации напряжений?
5. Как влияет радиус кривизны отверстия на величину коэффициента концентрации напряжений?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

Тема. «Изучение сопротивления материалов при циклических нагрузках».

1. Цель работы. Для выбранных образцов построить кривую сопротивления циклическим нагрузкам и произвести энергетическую интерпретацию полученной кривой.

II. Общие сведения

В природе и инженерной практике все нагрузки и деформации носят циклический характер. Единичные нагрузки являются идеализированными.

Сопротивление материалов единичным и циклическим нагрузкам, как показывает опыт, различно.

III. Опытная часть работы

Для изучения циклического сопротивления выберем стальные образцы цилиндрической формы (см. рис.7.).

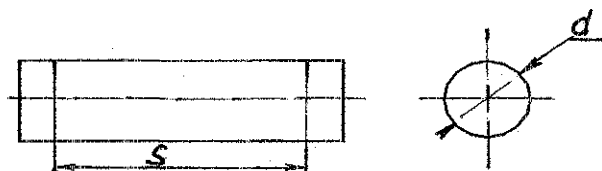


Рис. 7.1.

Для эксперимента выберем 5 одинаковых образцов.

Для их испытаний воспользуемся экспериментальной установкой, схематически показанной на рис. 7.2. Изменяя угол α , будем симметрично циклически нагружать каждый образец до разрушения, определяя количество циклов, и занесем данные опыта в таблицу.

| № обр. | α° | $\sigma_{\text{мна}}$ | К-во циклов n |
|--------|----------------|-----------------------|-----------------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |

IV. Графоаналитическая обработка результатов опыта

Для ориентировочного вычисления нормальных напряжений воспользуемся формулой

$$\sigma = \pm \frac{Y}{\rho} E, \quad (7.1)$$

Учитывая, что $E = 2 \cdot 10^5 \text{ Мпа}$,

$$y = \frac{d}{2},$$

$$\rho = \frac{180^\circ \cdot S}{\pi \cdot \alpha^\circ},$$

получим расчетную зависимость

$$\sigma = \pm \frac{d}{2} \frac{E \pi \alpha^\circ}{180^\circ S} \quad (7.2)$$

и вычислим σ для различных углов α .

По полученным данным построим кривую сопротивления циклическим нагрузкам (кривая Веллера см. рис. 7.2.)

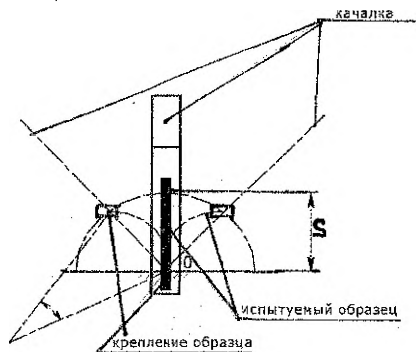


Рис. 7.2.

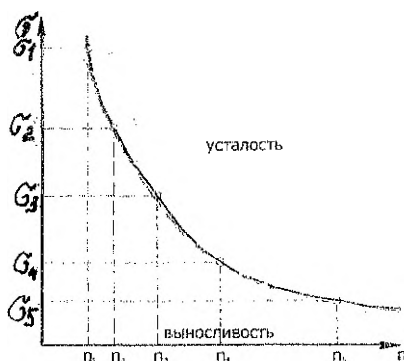


Рис. 7.3.

При циклических нагрузках сопротивление материала снижается в результате явления усталости до тех пор, пока не стабилизируется при так называемом базовом количестве циклов. Для стали это 10^7 циклов. Далее сопротивление уже не зависит от количества циклов.

V. Энергетическая интерпретация кривой Веллера

Учитывая, что потенциальная удельная энергия $u = \frac{\sigma^2}{2E}$, то при снижении σ по кривой Веллера уменьшается потенциальная энергия и работа деформации материала. Снижение энергоемкости материала не имеет общепризнанного научного объяснения.

Отчет

1. Понятие о единичных и циклических нагрузках.
2. Описание образцов, экспериментальной установки и методики.
3. Проведение опыта и табличное представление результатов.
4. Графоаналитическая обработка результатов опыта.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Определение единичных и циклических нагрузок.
2. Как сопротивляется материал циклическим нагрузкам?
3. Что подразумевается под усталостью?
4. Что подразумевается под выносливостью?
5. Что такое базовое число циклов?
6. Что показывает диаграмма Веллера?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

Тема. «Определение ударной вязкости материалов».

Цель работы. Определить ударную вязкость стали при динамическом изгибе образцов с надрезом.

II. Содержание работы

В инженерной практике часто приходится встречаться с динамической нагрузкой, которая сравнительно быстро меняет свою величину и положение.

Динамическое действие нагрузки не ограничивается тем, что напряжения оказываются иными, чем при статических нагрузках. Сам материал иначе реагирует на динамическую нагрузку, чем на медленно возрастающую. Особенно это заметно при ударе, когда резко повышается предел текучести. Поэтому при выборе материала для деталей подвергающихся динамическим воздействиям, вводят так называемую ударную пробу. Наиболее распространена проба на удар при изгибе.

Для определения ударной вязкости материалов наибольшее распространение получили маятниковые копры (схема установки показана на рис. 8.1)

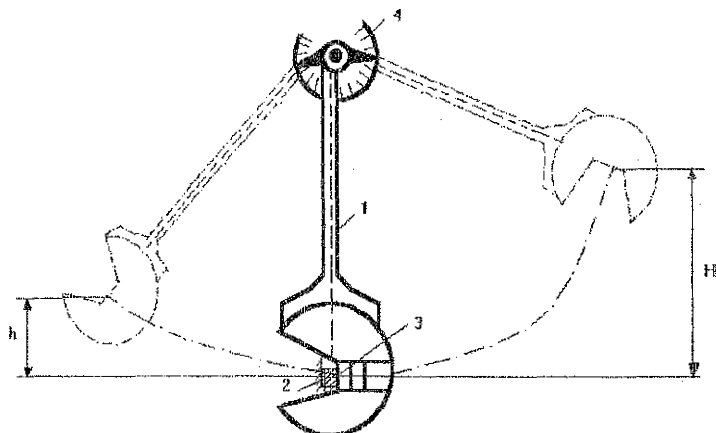


Рис. 8.1.

1 – маятник, 2 – образец, 3 – боек (нож), 4 – шкала измерений

При испытании стандартных образцов (рис. 8.2) применяют маятниковые копры с запасом энергии не более 30 кгм.

В нашем случае испытания производятся на маятниковом копре МК-30А.

Согласно ГОСТ 9454-30 образцы должны иметь стандартные размеры и установленный для образца надрез (рис. 8.2).

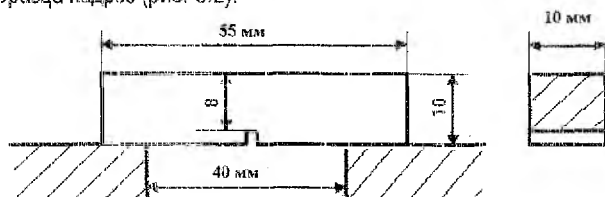


Рис. 8.2.

Если количество энергии, затраченной на излом образца равно U , а площадь поперечного сечения образца в месте излома равна A , то величина ударной вязкости определяется:

$$\alpha = \frac{U}{A} \left(\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{см}^2} \right) \quad (8.1)$$

Смысл надреза заключается в том, что стараются поставить материал в наиболее тяжелые условия работы в отношении ударных нагрузок. Возникающие при этом местные напряжения представляют собой такую систему напряжений, при которой материал находится в объемном напряженном состоянии; в этом случае затрудняются пластические деформации, а материал вблизи дна надреза оказывается в хрупком состоянии.

III. Порядок проведения испытаний

1. Перед началом испытания образец подвергается тщательному внешнему осмотру.
2. При помощи штангенциркуля измеряются размеры поперечного сечения образца в ослабленном сечении.
3. Поднимают маятник копра на высоту H и по шкале измерительного прибора фиксируют запас потенциальной энергии U_n .
4. Устанавливают образец между опорами копра надрезом в сторону, противоположную ударяемой.
5. Наносят удар и фиксируют запас потенциальной энергии после разрушения U_k .

IV. Обработка результатов испытаний

1. Вычисляют площадь поперечного сечения образца в ослабленном сечении A .
2. Находят количество энергии, затраченной на излом $U = U_n - U_k$.
3. По формуле (15.1) находят коэффициент ударной вязкости материала.
3. По таблице 1 определяют % содержания углерода и делают вывод о пластических свойствах стали.

Таблица 1

| Характеристики стали и химический состав | Термическая обработка | | | |
|--|-----------------------|---|------------------|---|
| | Отжиг | | Закалка и отпуск | |
| | σ_v (МПа) | $\alpha \left(\frac{кг \cdot м}{см^2} \right)$ | σ_v (МПа) | $\alpha \left(\frac{кг \cdot м}{см^2} \right)$ |
| Углеродистые стали | | | | |
| $c < 0,15$ | 350 – 450 | > 25 | 360 – 500 | > 25 |
| $c = 0,15 - 0,20$ | 400 – 500 | > 22 | 450 – 550 | > 20 |
| $c = 0,20 - 0,30$ | 500 – 600 | > 20 | 550 – 750 | > 15 |
| $c = 0,30 - 0,40$ | 600 – 700 | > 16 | 700 – 850 | > 12 |
| $c = 0,40 - 0,50$ | 700 – 800 | > 12 | 800 – 950 | > 9 |
| $c = 0,50 - 0,60$ | 800 – 900 | > 10 | 900 – 1050 | > 5 |
| $c = 0,60 - 0,70$ | 850 – 950 | > 8 | > 1000 | > 3 |
| $c > 0,70$ | > 950 | > 6 | > 1050 | > 2 |

Контрольные вопросы

1. Что называется ударной вязкостью материала?
2. В чем состоит особенность поведения материалов при ударных нагрузках?
3. Опишите установку для испытания на ударную вязкость.
4. Что характеризует ударная вязкость для испытания сталей?
5. Опишите стандартный образец и с какой целью делается надрез?
6. Что опаснее для сталей – повышение температуры в плюсовую сторону или понижение ниже нуля с точки зрения их сопротивления ударным нагрузкам?

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Составители: Веремейчик Андрей Иванович
Даркович Сергей Семенович
Мартиновский Владимир Леонидович
Соловей Павел Иванович
Трусь Александр Михайлович
Хвисевич Виталий Михайлович

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

по сопротивлению материалов

для студентов строительных и механических специальностей дневной
и заочной форм обучения

(Часть 1)

Ответственный за выпуск: Хвисевич В.М.

Редактор: Строкач Т.В.

Компьютерная верстка: Боровикиза Е.А.

Корректор: Никитчик Е.В.

Технический редактор: Никитчик А.Д.

Подписано к печати 5.05.2005 г. Бумага писчая. Гарнитура Arial Narrow. Усл. печ. л. 1,86.
Уч.-изд. л. 2,0. Заказ № 557. Тираж 100 экз. Отпечатано на ризографе учреждения
образования «Брестский государственный технический университет».
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.