

**Министерство образования и науки РФ  
ФГБОУ ВО ТГПУ им. Л.Н. Толстого  
Кафедра АТБ**

**В.А. Тютин**

**ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ»**

для студентов направления подготовки  
20.03.01 «Техносферная безопасность»

**Тула 2016**

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1.....	3
ИСПЫТАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ОБРАЗЦОВ НА РАСТЯЖЕНИЕ .....	3
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2.....	6
ИСПЫТАНИЕ НА СЖАТИЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	6
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3.....	9
ИСПЫТАНИЕ ЛИСТОВОЙ СТАЛИ НА СРЕЗ.....	9
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4.....	10
ИЗУЧЕНИЕ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ КРУЧЕНИИ СТЕРЖНЯ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ .....	10
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5.....	13
ИЗУЧЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ БРУСА ПРИ ЧИСТОМ ИЗГИБЕ.....	13

## ВВЕДЕНИЕ

Основная цель проведения лабораторных работ – показать студентам, что в основании науки о сопротивлении материалов лежит эксперимент. Цель достигается прежде всего в процессе изучения испытательных машин ИМ-4А и КМ-50-1, специально предназначенных для лабораторных испытаний образцов из различных материалов. Обязательным является изучение методик проведения испытаний, осуществление испытаний, обработка полученных результатов, ответы на контрольные вопросы. Выполнение лабораторных работ углубляет понимание студентами лекционного курса, способствует лучшему закреплению основных понятий.

Каждая лабораторная работа выполняется одновременно всей подгруппой, управляет испытательной машиной лаборант. Студенты измеряют перед испытаниями параметры образцов из различных материалов, а во время работы регистрируют промежуточные и конечные результаты, ведут обработку диаграмм, фиксируемых машинами с помощью приборов и самописцов. После окончания эксперимента каждый студент представляет индивидуальный отчет о выполненной работе и отвечает на контрольные вопросы.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 ИСПЫТАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ОБРАЗЦОВ НА РАСТЯЖЕНИЕ

**Цель работы:** ознакомление с методикой испытания, изучение поведения материала в процессе растяжения и определение его основных механических характеристик.

### Основные методические сведения

Испытания проводятся на машине ИМ-4А, специально предназначенной для испытания лабораторных образцов  $\varnothing$  6мм, выполненных из различных материалов. Испытанная машина сообщает образцу принудительное удлинение и регистрирует нагрузку, соответствующую этому удлинению, и само удлинение – деформацию. Результаты опыта представляются диаграммой растяжения, которая регистрируется автоматически диаграммным аппаратом машины, и не зависят от размеров образца, а определяются только механическими свойствами материала образца.

Исследование процесса растяжения до момента разрушения при обычной температуре позволяет выявить различия в механических характеристиках испытываемых образцов. Хрупкие стали разрушаются при очень малых остаточных деформациях, пластичные – при значительных остаточных деформациях.

Образец диаграммы растяжения малоуглеродистой стали представлен на рисунке 1.2. По оси абсцисс в масштабе 0,01мм в одном мм диаграммы фиксируется удлинение образца ( $\Delta l$ ), по оси ординат в масштабе 100 Н в одном мм диаграммы – усилия растяжения ( $F_i$ ). Первая часть диаграммы от точки О до точки А представляет собой прямую линию. Точка О диаграммы получается продолжением прямолинейной наклонной прямой до пересечения с осью абсцисс. Этим исключается из рассмотрения начальные обмятия образца, люфты в механизме испытательной машины, неизбежные при испытании образца. Точка А соответствует пределу пропорциональности

$$\sigma_{pr} = F_{pr} / A_0 -$$

Наибольшему напряжению, до которого деформация в стальном образце растут пропорционально нагрузке в соответствии с законом Гука

$$\varepsilon = \sigma / E.$$

В приведенных формулах:  $F_{pr}$  – пропорциональное усилие – определяется из диаграммы растяжения;  $A_0$  – начальная площадь поперечного сечения образца;

$\varepsilon$  – относительное удлинение образца; E-модуль упругости первого рода;  $\sigma$  – нормальное напряжение.

Следующей характерной точкой на диаграмме является точка В (величина растягивающей силы в этой точке  $F_e$ ). Эта точка соответствует пределу упругости  $\sigma_e$ . Предел упругости – это такое напряжение, которое вызывает незначительные (от 0,001 до 0,05%) остаточные деформации, то есть при напряжениях, превышающих предел пропорциональных, в материале возникают наряду с упругими и пластические деформации. При дальнейшем увеличении растягивающей силы (больше  $F_e$ ) деформация начинает расти быстрее нагрузки. Диаграмма имеет криволинейный вид с выпуклостью вверх, при этом наблюдается явление текучести металла. (точка С). При значении растягивающей силы  $F_y$  участок диаграммы имеет почти горизонтальную площадку (площадку текучести). Для увеличения деформации почти не нужно увеличивать растягивающую силу. Напряжение, при котором происходит текучесть металла, называется пределом текучести:

$$\sigma_y = F_y / A_0.$$

Во время течения материала на поверхности образца появляются в более или менее резкие степени линии, наклоненные под углом  $45^\circ$  к оси образца. Они называются линиями Чернова и вызываются сдвигом кристаллов стали при наступлении значительных деформаций.

Ряд сталей при испытании на растяжение не имеют явно выраженной площадки текучести. Для них вводится понятие условного предела текучести  $\sigma_{0,2}$  – напряжения, при котором остаточное удлинение составляет 0,2% длины образца ( $\Delta l = 0,002l_0$ ),  $\sigma_{0,2} / A_0$ ;  $F_{0,2}$  определяется из диаграммы, как показано на рисунке 1.3, аналогично определяется и  $F_y$ .

Для малоуглеродистых сталей характерно, что после образования площадки текучести металл вновь начинает сопротивляться дальнейшему растяжению, и для увеличения удлинения  $\Delta l$  приходится увеличивать растягивающую силу  $F$ .

Точка D диаграммы соответствует наибольшей величине нагрузки  $F_u$ . Напряжение, вызванное наибольшей нагрузкой, носит название предела прочности, или временного сопротивления,  $\sigma_u = F_u / A_0$ . Участок диаграммы от точки С до точки D называют зоной упрочнения.

До точки D в удлинении участвовал весь образец, каждая единица его длины удлинялась одинаково, точно так же во всех сечениях было одинаковое уменьшение поперечных размеров – отрезок  $OO_1$  оси абсцисс диаграммы растяжения (рис. 1.2.). По достижении максимальной нагрузки  $F_u$  деформации сосредотачиваются в одном месте образца, как правило в средней части его длины. В этом месте наблюдается местное сужение, образуется так называемая шейка, в пределах которой и происходит разрыв образца, при этом нагрузка уменьшается до величины  $F_p$  (точка E).

Напряжение  $\sigma_{pr}, \sigma_e, \sigma_y, \sigma_u, \sigma_{0,2}$  условные, так как они вычисляются делением соответствующих сил на начальную площадь сечения образца до испытания. Истинное напряжение в момент разрыва  $\sigma = F / A_{ш}$  где  $A_{ш}$  – площадь сечения шейки образца, а  $F_p$  определяется из диаграммы. Истинное напряжение в момент разрыва  $\sigma_p$  может в несколько раз превышать величину предела прочности.

Для оценки пластичности сталей при испытании на разрыв определяют величины относительно остаточного удлинения  $\varepsilon_r$  (%) и относительно остаточного сужения  $\psi_r$  (%) по следующим формулам:

$$\varepsilon \frac{l_{\max} \cdot 100\%}{l_0} = \frac{(l_1 - l_0) \cdot 100\%}{l_0};$$

$$\psi_r = \frac{(A_0 - A_u) \cdot 100\%}{A_0}$$

Сравнение результатов испытаний оказывается возможным только при испытании геометрических подобных образцов определенной стандартной формы.

#### Оборудование, материалы, инструменты

Испытание на разрыв производится на машине типа ИМ-4А с ручным приводом. Машина имеет барабанный аппарат, автоматически вычерчивающий диаграмму «сила-удлинение» при растяжении образца. Вертикальный масштаб диаграммы 1мм – 100Н, горизонтальный масштаб 1мм – 0,01мм.

Для проведения испытаний применяется цилиндрический образец из малоуглеродистой стали с отношением  $l_0/a_0=5$ , который закладывается в специальное приспособление–реверсор. Перед закладкой образца реверсор развинчивается, а после сборки с образцом устанавливается в машину.

Измерение образца до и после разрушения производится штангенциркулем с точностью до 0,1мм

Для обработки диаграммы применяется масштабная линейка.

#### Порядок выполнения работы

1. До начала работы необходимо измерить диаметр  $d_0$ , рабочую длину  $l_0$  образца и вычислить площадь сечения образца  $A_0$ . Эти данные заносятся в журнал испытания.
2. Затем образец закладывается в реверсор, который устанавливается в испытательную машину.
3. посредством ручного привода производится сжатие реверсора и разрыв образца. При этом на барабанном аппарате машины на миллиметровой бумаге автоматически вычисляется диаграмма растяжения образца.
4. После окончания испытания измеряется диаметр образца в месте разрыва. Это изменение выполняется ввиду обычно неправильной формы сечения по трем различным диаметрам. По среднему арифметическому из этих измерений вычисляется  $d_{ш}$  и площадь поперечного сечения в месте разрыва  $A_{ш}$ . Замеряется длина образца после разрыва  $l_1$ . Эти данные заносятся в журнал наблюдений.
5. Диаграмма снимается с барабана, и производится ее обработка. Сначала проводится горизонтальная прямая – ось абсцисс – через начало кривой. Затем определяется начало координат О, проводится ось ординат. На диаграмме отмечают характерные точки А, соответствующую началу горизонтального участка; D-максимальной нагрузке; E-моменту разрыва. Измеряются в масштабе сил ординаты, отвечающие намеченным точкам. Проводятся прямые  $DO_1$  и  $EO_2$ , параллельные прямой ОА. В масштабе удлинения измеряются отрезки  $OO_1$ -равномерное остаточное удлинение  $\Delta l_{равн}$  -и  $OO_2$ -остаточное удлинение в момент разрыва  $\Delta l_{max}$ . Эти величины заносятся в журнал наблюдений.
6. По полученным данным и вышеприведенным формулам вычисляются и заносятся в журнал наблюдений: предел пропорциональности  $\sigma_{pr}$  предел текучести  $\sigma_y$ , предел прочности (временное сопротивление)  $\sigma_u$ , истинное напряжение в момент разрыва  $\sigma_p$ , относительное удлинение  $\sigma_r$ , относительное остаточное сужение  $\psi_r$ .

#### ЖУРНАЛ НАБЛЮДЕНИЙ

№ П/П	Наименования	Обозначения	Результаты
1	Начальный диаметр образца, мм	$d_0$	
2	Диаметр образца в месте его разрыва, мм	$d_{ш}$	

3	Длина образца до испытаний, мм	$l_0$	
4	Длина образца после разрыва, мм	$l_1$	
5	Относительное остаточное удлинение, %	$\varepsilon_r$	
6	Площадь поперечного сечения до разрыва, м <sup>2</sup>	$A_0$	
7	Площадь поперечного сечения образца в месте разрыва, м <sup>2</sup>	$A_{ш}$	
8	Относительное остаточное сужение образца, %	$\psi_r$	
9	Нагрузка на образец в т. А, Н	$F_{pr}$	
10	Нагрузка на образец в т. В, Н	$F_e$	
11	Нагрузка на образец в т. С, Н	$F_y$	
12	Нагрузка на образец в т. D, Н	$F_H$	
13	Нагрузка на образец в т. E, Н	$F_p$	
14	Предел пропорциональности, МПа	$\sigma_{pr} = F_{pr} / A_0$	
15	Предел текучести, МПа	$\sigma_y$	
16	Напряжение в момент разрыва образца, МПа	$\sigma_p = F_p / A_u$	
17	Предел прочности, МПа	$\sigma_u = F_u / A_0$	
18	Угол наклона прямой ОА к оси абсцисс, град.	$\alpha$	
19	Модуль упругости испытуемого образца, МПа	$E = tg\alpha \cdot (l_0 / A_0)$	
20	Равномерное остаточное удлинение, мм	$\Delta l_{равн}$	
21	Остаточное удлинение в момент разрыва, мм	$\Delta l_{max}$	

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Объяснить диаграмму растяжения, показать характерные точки диаграммы.
2. Как вычисляются  $\sigma_u, \sigma_y, \varepsilon_r, \psi_r$ ?
3. Что такое истинное напряжение? Наклеп?
4. Описать последовательность выполнения работы, применяемое оборудование и образцы.

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

#### ИСПЫТАНИЕ НА СЖАТИЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Цель работы:** изучение свойств материалов существенное значение испытание их на сжатие. Деформация сжатия отличается от деформации растяжения только обратным знаком (укорочение образца вместо его удлинения). Величина ускорения  $\Delta l = h_0 - h_1$ , где  $h_0$ -начальная высота образца (до испытания),  $h_1$ -высота образца после сжатия (осадки).

В качестве показателя пластичности (степени деформации) используется величина относительного укорочения

$$\varepsilon_i = \frac{h_0 - h_1}{h_0} \cdot 100\%.$$

Для испытаний на сжатие берут образцы в форме кубиков или не высоких цилиндров ( $h \leq 3d$ ), так как при более длинных образцах может произойти изгиб.

Применение очень коротких образцов нежелательно, поскольку развивающиеся по торцам образца силы трения препятствуют его расширению, из-за чего образец принимает бочкообразную форму. Результаты испытания на сжатие зависят от сил трения, и поэтому цилиндрические образцы целесообразнее кубических. Влияние сил трения можно частично ослабить, смазав торцы образца, например парафином.

Многие металлы и другие материалы, обладающие высокой способностью к пластическому деформированию, либо совсем не разрушаются в условиях сжатия, либо дают разрушения только при очень большой пластической деформации. Вместе с тем эти материалы переходят в пластическое состояние при напряжениях, незначительно от соответствующих напряжений при растяжении.

Хрупкие материалы, такие как чугун, камень, бетон и подобные им, разрушаются во время сжатия при значительно больших напряжениях, чем при растяжении. Диаграмма сжатия хрупкого металла аналогична диаграмме растяжения. Разрушение происходит при незначительных деформациях.

Особым своеобразием отличается сопротивление сжатию древесины как материала анизотропного и обладающего волокнистой структурой.

Условное напряжение, действующее в образце при сжатии,

$$\sigma_{\text{усл}} = \frac{F}{A_0},$$

Где  $F$  –сжимающая сила,  $A_0$  –площадь начального сечения образца.

В данной работе проводится сравнительное изучение свойств при сжатии пластического металлического образца и деревянных образцов при сжатии вдоль и поперек волокон, с построением диаграмм «сила-укорочение образца».

#### Оборудование, материалы и инструменты

Испытание на сжатие образцов производится на машине ИМ-4А в ручном нагружения с максимальным усилием 40 кН. Усилие сжатия и укорочения образца ( $\Delta l$ ) фиксируется диаграммы аппаратом машины, автоматически вычерчивается диаграмма «сила - укорочения образца». Вертикальный масштаб диаграммы 1 мм – 100 Н, горизонтальный масштаб 1 мм – 0,01 мм.

При испытании применяется один образец из пластичного материала или сплава диаметром  $d=10-15$  мм и высотой  $h_0 = 25-30$  мм, для избежания продольного изгиба при сжатии, а также два деревянных образца размерами:  $a \times b \times d = 20 \times 20 \times 20$  мм.

Измерение металлического и деревянного образцов производится штангенциркулем. Точность измерения металлического образца – 0,1 мм, а деревянных образцов – 0,5 мм, поскольку деревянные образцы имеют более шероховатую поверхность.

#### Порядок выполнения работы

1. До начала испытаний необходимо измерить диаметр  $d_0$ ,  $h_0$  металлического образца и три параметра ( *длина × ширина × высота* ) двух деревянных образцов.

2. Металлический образец устанавливается в испытательную машину с использованием специальных опорных плит. Посредством ручного привода производится сжатие образца. При этом на миллиметровой бумаге барабанного аппарата машины автоматически вычерчивается диаграмма сжатия образца. Образец при сжимающей нагрузке укорачивается, но увеличивается его диаметр. Довести пластичный металлический образец до разрушения не удастся. Испытание заканчивается после относительной стабилизации максимальной сжимающей нагрузки, когда диаграмма приобретает вид, показанный на рисунке 2.1.

3. Установить деревянный образец на нижнюю опорную плиту машины так, чтобы расположение его волокон шло вдоль сжимающей силы. Ручным приводом производится сжатие образца до его разрушения. При этом диаграммным аппаратом

машины вычерчивается диаграмма сжатия «F- Δl ». Примерный вид диаграммы сжатия деревянного образца вдоль волокон показан на рисунке 2.2,а.

4. Аналогично пункту 3 произвести испытание на сжатие деревянного образца, сжатого поперек волокон, значительно ниже, чем при сжатии его вдоль волокон. Примерный вид диаграммы сжатия данного испытания показан на рисунке 2.2,б.

5. Диаграммы снимаются с барабана, и производится их обработка. Начинают с проведения горизонтальных прямых – осей абсцисс- через начальную точку диаграммы, соответственно для каждой диаграммы отдельно. Затем определяется начало координат О, проводятся оси ординат. На диаграммах отмечают характерные точки (рис. 2.1 и 2.2.): А – соответствующую концу прямолинейного участка; В – соответствующую для металлического образца пределу текучести, а для деревянных – пределу прочности при сжатии; С – соответствующую для металлического образца пределу прочности.

Изменяются в масштабе сил ординаты, отвечающие намеченным точкам  $\sigma_{pr}$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_u$ .

Значения этих нагрузок заносятся в журнал наблюдений.

Для металлического образца проводятся замеры его высоты  $h_1$  и диаметра  $d_1$  (определяется среднее арифметическое значение по трем замерам диаметра в средней части образца) после испытания. Эти данные также заносятся в журнал наблюдений, по ним определяют степень деформации  $\varepsilon_i$  и истинное напряжение на конечной стадии испытания металлического образца.

### ЖУРНАЛ НАБЛЮДЕНИЙ

№ п/п	Наименование	Обозначение	Результаты
1	Начальный диаметр и высота Металлического образца, мм	$d_0, h_0$	
2	Габаритные размеры деревянных образцов, мм	$a \cdot b \cdot h_0$	
3	Значение нагрузок в точках А; В; С: -металлический образец, Н -деревянный вдоль волокон, Н -деревянный поперек волокон, Н	$F_A, F_B, F_C$ $F_A, F_B$ $F_A, F_B$	
4	Степень деформации металлического образца, %	$\varepsilon_i$	
5	Пределы прочности: -металлического образца, мПа; -деревянного вдоль волокон, мПа; -деревянного поперек волокон, мПа;	$\sigma_u$ $\sigma_u$ $\sigma_u$	
6	Пределы пропорциональности и текучести Для металлического образца, мПа;	$\sigma_{pr}; \sigma_y$	
7	Истинное напряжение в металлическом образце, мПа	$\sigma_{ист} = F_c / d_1$	

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Охарактеризовать процесс сжатия пластичных и хрупких материалов в сравнении с испытаниями на растяжение.

2. Какая величина принимается за показатель пластичности при испытании на сжатие?

3. Объяснить полученные в работе диаграммы сжатия.

4. Рассказать о последовательности выполнения работы.



### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ИСПЫТАНИЕ ЛИСТОВОЙ СТАЛИ НА СРЕЗ

**Цель работы:** экспериментальное определение касательного напряжения в плоскости среза  $\tau$ , определение соотношения  $\tau/\sigma_u$  при вырубке круглой заготовки из полосы листового материала и освоение методики испытания.

#### Общие методические сведения

На практике целый ряд деталей и элементов конструкции работают в таких условиях. Что внешние силы стремятся разрушить их путем сдвига. Чистый сдвиг – это такое напряженное состояние, при котором в сечениях деталей действуют только касательные напряжения.

Детали, подвергающиеся сдвигающим нагрузкам (перерезыванию, вырубке и др.), наряду с деформацией в начальный момент подвергаются смятию и изгибу.

Величина допускаемого касательного напряжения  $\tau_{adm}$ , действующего в плоскости среза, определяется на основе общих теорий прочности и находится в следующих пределах:

$$\tau_{adm} = 0,5 - 0,8\sigma_{adm}$$

Где  $\sigma_{adm}$  - допускаемое нормальное напряжение при осевом растяжении.

Детали и элементы конструкции имеют необходимый запас прочности под действием сдвигающих нагрузок при условии, что

$$\tau \leq \tau_{adm},$$

Где  $\tau$  - действительное касательное напряжение, действующее в плоскости среза.

Для более точного определения допускаемого касательного напряжения  $\tau_{adm}$  при различных операциях вырубки, перерезания и других прибегают к практическим испытаниям.

Из опыта устанавливается абсолютное значение  $\tau$  и определяется фактическое отношение  $\tau/\sigma_u$ . Предел прочности  $\sigma_u$  для материала образца, который испытывается на срез, определяется по справочнику. Зная соотношение  $\tau/\sigma_u$ , можно более определить допускаемое касательное напряжение.

В данной работе подвергается испытанию на срез образец из листового материала путем вырубки из нее круглой заготовки диаметром  $d$  и толщиной  $\delta$ .

Осредненное значение касательного напряжения по плоскости среза определяется в нашем случае по следующей формуле:

$$\tau = \frac{F_{max}}{\pi \cdot d \cdot \delta},$$

Где  $F_{max}$  – максимальное усилие в процессе среза;

$\pi \cdot d \cdot \delta = A_{cp}$  - площадь среза.

#### Оборудование, материалы, инструменты

Испытание выполняется на машине ИМ- 4А, знакомой по выполнению работ на растяжение и сжатие различных материалов. Усилие вырубки фиксируется диаграммным аппаратом машины, автоматически в процессе испытания. Испытание проводится в специальном вырубном штампе, схема которого на рисунке 3.1.

Измерение толщины полосы и размеров круглой вырубленной заготовки производится штангенциркулем с точностью до 0,1мм.

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомится с конструкцией вырубного штампа.
2. Подготовить журнал наблюдений для измерений и расчетов.
3. Определить маркировку материала образца и его толщину  $\delta$ . Данные занести в журнал наблюдений.
4. На нижний шпиндель машины ИМ – 4А установить строго по центру вырубной штамп.
5. В направляющий паз штампа вставить исследуемый образец.
6. Посредством ручного привода машины сжать вырубной штамп между нижним и верхним шпинделями машины. Увеличивая усилие сжатия, что можно наблюдать на графике нагрузки диаграммного аппарата, ведущего автоматическую запись процесса вырубки, произвести вырубку круглой заготовки.
7. Замерить диаметр вырубленной заготовки  $d$ .
8. Снять диаграмму вырубки с барабана диаграммного аппарата, произвести ее обработку и определить  $F_{\max}$ .
9. Вычислить величину  $\tau$  и отношение  $\tau / \sigma_u$ ; полученные данные занести в журнал наблюдений.
10. Определить  $\tau_{adm}$ .

### ЖУРНАЛ НАБЛЮДЕНИЙ

№ п/п	Наименование	Обозначения	Результаты
1	Толщина образца, мм	$\delta$	
2	Маркировка материала образца	$C_M$	
3	Диаметр вырубленной заготовки, мм	$d$	
4	Максимальное усилие среза, мм	$F_{\max}$	
5	Осредненное касательное напряжение, мПа	$\tau$	
6	Предел прочности стали на растяжение, мПа	$\sigma_u$	
7	Соотношение	$\tau / \sigma_u$	
8	Значение	$\tau_{adm}$	

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. дать определение понятия «чистый сдвиг»
2. каким образом определяется допускаемое касательное напряжение в плоскости среза?
3. Описать последовательность испытаний, объяснить принцип действия вырубного штампа.

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 ИЗУЧЕНИЕ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ КРУЧЕНИИ СТЕРЖНЯ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

**Цель работы:** экспериментальная проверка закона Гука при кручении и определении опытным путем величины модуля упругости при сдвиге.

#### Общие методические сведения

Теория кручения круглого стержня обоснована предложением, что его поперечные сечения, совершая повороты вокруг продольной оси, не подвергаются искривлению.

В качестве меры деформации при кручении принимают угол закручивания (угол поворота одного сечения относительно другого). Для упругих деформаций при кручении справедлив закон Гука, т. е. равным приращениям крутящего момента соответствуют равные приращения угла закручивания. Правильность этого

предположения подтверждается опытным путем. Численное значение модуля упругости при сдвиге определяется по следующей формуле:

$$G = \frac{T \cdot l}{I \cdot I_p},$$

Где  $T$  - крутящий момент;

$l$  – расстояние между сечениями образца;

$I$  – угол закручивания;

$I_p$  – полярный момент инерции;  $I_p = \frac{\pi \cdot d^4}{32}$ ;

$d$  – диаметр образца.

Экспериментальное значение модуля упругости при сдвиге сравнивается с расчетной величиной, определенной по формуле:

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

где  $E$ -модуль упругости первого рода(модуль упругости при растяжении, сжатии);  
 $\mu$  – коэффициент Пуассона.

### **Оборудование, материалы, инструменты**

Исследование деформаций кручения производится на стальных круглых и плоских стержнях на машине КМ-50-1, специально предназначенной для испытания образцов из металла на кручение. Принципиальная схема машины КМ-50-1 представлена на рис. 4.1. Эта машина относится к типу испытательных машин с механическим нагружением вертикально расположенного образца и рычажно-маятниковым моментоизмерителем.

Образец 1, зажатый в захватах 2 и 23, подвергают кручению при помощи механизма привода. Привод работает следующим образом: электродвигатель 13, установленный внутри корпуса привода, через клиноременную передачу 14 приводит во вращение червячную пару 11, которая через коробку скоростей 10 и червячную пару 5 и 6 вращает ходовой винт 3 с установленным на нем нижним захватом.

Момент, приложенный к нижнему захвату, передается через механизм нагружения 22 маятнику 24, который отклоняется вместе с рычагом 21, связанный с рейкой 20. Рейка, поднимаясь с рычагом 21, вращает шестерню 18, на которой сидит стрелка 19, показывающая крутящий момент на шкале моментоизмерителя 17.

На одной оси с рабочей стрелкой находится шкиф, который с помощью гибкого тросика 25 перемещает перо записывающего аппарата. Перо перемещается прямо пропорционально углу поворота рабочей стрелки.

На оси абсцисс диаграммного аппарата записывается крутящий момент, а на оси ординат-угол закручивания.

Для закрепления образцов различной длины нижний активный захват 2 маховиком 27 устанавливаются на различной высоте. Нижний захват расположен в ходовом винте на направляющих, выполненных в виде шариковых обойм, которые обеспечивают осевое перемещение захвата во время испытания образцов. Для этого чтобы на образец не действовала растягивающая сила, создаваемая весом деталей захвата, пружина внутри ходового винта поддерживает захват и смягчает его удар по торцу ходового винта после разрушения образца.

Угол закручивания отсчитывается по шкале, установленной на ходовом винте. Шкала имеет 360 делений, цена каждого из них соответствует углу закручивания в  $1^{\circ}$ . Показания на шкале углов закручивания соответствуют относительному повороту захватов машины, так как поправка на поворот верхнего захвата вносится автоматически

корректирующим приспособлением. Необходимо иметь в виду, что точно отсчитывать углы закручивания образцов можно лишь при нагружении образца ручным приводом.

Машина КМ-50-1 имеет три шкалы моментометра, в данной лабораторной работе используется шкала с предельным значением 100Нм, цена деления шкалы 0,2 Нм.

Одному миллиметру диаграммы записи соответствуют по оси абсцисс (крутящий момент) 1/250 предельного значения шкалы, т.е. 0,4Нм; по оси ординат (угол закручивания) 0,5°. Погрешность записи не превышает по моментам  $\pm 2,5$  мм, по углу закручивания  $\pm 0,5$  мм.

Линейные размеры образцов измеряются линейкой, диаметр стержня и сечения плоского образца измеряются штангенциркулем.

Образцы выполнены из малоуглеродистой стали и соответствуют требованиям ГОСТ 3565-78.

### Порядок выполнения работы

1. ознакомимся с устройством машины КМ050-1 для испытания на кручение.
2. Измерить диаметр и рабочую длину круглого стержня, затем поперечное сечение плоского образца.
3. Закрепить круглый образец в захватах машины, установить масштаб записи диаграммного аппарата и скорость привода нагружения в нейтральное положение – нагружение образца крутящим моментом осуществляется ручным приводом.
4. Посредством ручного привода машины к образцу приложить начальный крутящий момент, который фиксируется движением стрелки по круговой шкале измерения моментов. Затем момент увеличивается равными ступенями  $\Delta T = 2$  Нм, что контролируется по шкале моментов. Так, если  $\Delta T = 2$  Нм, то это соответствует перемещению стрелки на пять делений. В этот момент рекомендуется прервать вращение рукоятки ручного привода нагружения на 3-5 секунд, далее снова плавно нагружать образец с шагом  $\Delta T = 2$  Нм выдержать максимально возможного значения крутящего момента, который может выдержать образец до разрушения. При этом диаграммный аппарат машины автоматически ведет запись процесса нагружения.
5. По окончании нагружения круглого образца в захваты установить плоский образец и повторить испытание согласно пунктам 3, 4.
6. Диаграмму снять с барабана и произвести ее обработку отдельно по круглому и плоскому образцам. Обработка начинается с проведения с проведения горизонтальной прямой – оси абсцисс, которая разбивается на равные интервалы  $\Delta T$ . Проводится вертикальная прямая – ось ординат, на которой определяются интервалы  $\Delta \varphi$ , соответствующие  $\Delta T$ .
7. Убедится в справедливости закона Гука при кручении: равным  $\Delta T$  должны соответствовать одинаковые измерения угла закручивания  $\Delta \varphi$ . Данные занести в журнал наблюдений.
8. вычислить по формуле (1) экспериментальную величину модуля упругости при сдвиге и сравнить его с величиной  $G$ , полученной по расчетной формуле (2).
9. Заполнить журнал наблюдений .

### ЖУРНАЛ НАБЛЮДЕНИЙ

№ п/п	Наименование	Обозначение	Результаты
1	Диаметр образца, мм	$d$	
2	Рабочая длина образца, мм	$l$	

3	Размеры поперечного сечения плоского образца, мм	$h \cdot b$	
4	Интервалы нагружения образцов, Нм 1 2 3 4 5 6 7	$\Delta T$	
5	Интервалы измерения углов закручивания, град: 1 2 3 4 5 6 7	$\Delta \varphi$	
6	Модуль упругости при сдвиге, мПа	$G_1 = \frac{T \cdot l}{I \cdot I_p}$ ; $G_2 = \frac{E}{2(1 + \mu)}$	
7	Модуль упругости при растяжении, мПа	E	
8	Полярный момент инерции, мм <sup>4</sup>	$I_p = \frac{\pi \cdot d^4}{32}$	

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что понимается под деформацией кручения?
2. Объяснить устройство и принцип действия испытательной машины.
3. Привести расчеты формулы для определения модуля упругости при сдвиге.
4. Описать последовательность выполнения работы

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 ИЗУЧЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ БРУСА ПРИ ЧИСТОМ ИЗГИБЕ

**Цель работы:** экспериментальная проверка кривизны оси бруса от величины изгибающего момента.

#### Общие методические сведения

При чистом изгибе однородного бруса постоянного сечения, с отношением высоты сечения к ширине 1:36 (брус в виде линейки), в любом сечении бруса изгибающий момент  $M$  имеет постоянное значение:  $M = \text{const}$ . Первая производная от такого момента, соответствующая поперечной силе, равна нулю:

$$\frac{d \cdot M}{d \cdot z} = Q = 0.$$

Кривизна бруса для всех его участков также будет одинаковой и будет иметь постоянное значение. Иными словами, при частом изгибе ось одного сечения бруса принимает форму дуги окружности, при этом все сечения бруса не искривляются, а лишь поворачиваются.

Зависимость кривизны от изгибающего момента имеет вид:

$$\frac{I}{R} = \frac{M}{E \cdot I_x},$$

Где R-радиус кривизны оси бруса, мм

$I_x$ -момент инерции сечения бруса относительно главной центральной оси, перпендикулярной к плоскости изгибающего момента, мм<sup>4</sup>;

E-модуль упругости первого рода, для стали  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа.

Радиус кривизны оси бруса R может меняться при изменении величины изгибающего момента M. Сопоставляя расчетные значения с результатами экспериментальных замеров, можно убедиться в справедливости зависимости(1).

### **Оборудование, материалы, инструменты**

Проверка зависимости (1) проводится на модели для демонстрации деформации бруса при чистом изгибе типа СМ-47А. Модель (рис. 5.1) состоит из следующих составных частей: брус 10-линейка 0,6×22×500мм ГОСТ 427-56, материал сталь 65Г; станина 1, на которой установлена стойка 5 и две подставки 2 для размещения на них грузов в нерабочем состоянии модели. По стойке 5 перемещается втулка 6, к которой шарнирно присоединена стрелка 9, предназначенная для проверки радиуса кривизны бруса. Перемещение втулки 6 относительно стойки 5 и стрелки относительно втулки 6 может быть зафиксировано с помощью винтов 15, 16. Приложение двух равных изгибающих моментов на концах бруса 10 достигается с помощью гиревых подвесов 4 с тросами 7, перекинутыми через ролики 8, 12. На роликах установлены опоры для крепления бруса, при этом ролик 12 снабжен специальной опорой 11 для жесткого крепления деформируемого бруса, а опора на ролике 8 допускает поступательное перемещение бруса в шариковых подшипниках, установленных на двух осях 13, 14.

Вес грузов, накладываемых на каждый гиревой подвес, составляет 5Н; 10Н; 15Н.

### **Порядок выполнения работы**

1. Оформить журнал наблюдений.
2. Ознакомиться с устройством демонстрационной модели СМ-47А.
3. Определить значения изгибающих моментов M, соответствующие грузам: 5Н; 10Н; 15Н,-накладываемый на каждый гиревой подвес, по зависимости

$$M = F \cdot \frac{D}{2},$$

Где F-вес груза;

D-диаметр ролика (8,12),мм

4. определить значение радиуса кривизны бруса R при трех разных значениях M по зависимости (1).

5. На модели СМ-47А с помощью стрелки 9 определить радиус кривизны бруса 10 при трех значениях грузов: 5Н; 10Н; 15Н.

6. Величины радиуса кривизны бруса, полученные из опыта, сравнить с расчетными значениями, полученными по зависимости.

## ЖУРНАЛ НАБЛЮДЕНИЙ

№ п/п	Наименование	Обозначение	Вычисления	Результаты
1	Диаметр ролика	D		
2	Значение изгибающего момента в соответствии с величиной груза, Нм:  F <sub>1</sub> =5Н  F <sub>2</sub> =10Н  F <sub>3</sub> =15Н	M  M <sub>1</sub>  M <sub>2</sub>  M <sub>3</sub>	$M = F \cdot \frac{D}{2}$  $M_1 = F_1 \cdot \frac{D}{2}$  $M_2 = F_2 \cdot \frac{D}{2}$  $M_3 = F_3 \cdot \frac{D}{2}$	
3	<i>b = 22мм; h = 0,6мм</i>	I <sub>x</sub>	$I_x = bh^3 / 12$	
4	Значение радиуса кривизны бруса, по зависимости (1),мм  При M <sub>1</sub>  При M <sub>2</sub>  При M <sub>3</sub>	R  R <sub>1</sub>  R <sub>2</sub>  R <sub>3</sub>	$R = EI_x / M$  $R_1 = EI_x / M_1$  $R_2 = EI_x / M_2$  $R_3 = EI_x / M_3$	
5	Значение радиуса кривизны бруса, полученные из опыта, мм:  F <sub>1</sub> =5Н  F <sub>2</sub> =10Н  F <sub>3</sub> =15Н	R <sub>0</sub> R <sub>10</sub>  R <sub>20</sub>  R <sub>30</sub>		

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что понимается под радиусом кривизны бруса?
2. Какой вид нагружения бруса называется чистым изгибом? Как этот вид нагружения осуществляется на модели СМ-47А?
3. Привести зависимость по определению радиуса кривизны бруса от изгибающего момента.
4. Описать последовательность выполнения работы.

### Литература

1. Степин П.А, Сопротивление материалов, М.:Высш. Шк., 1988ю
2. Мовнин М.С., Израелит А.Б, Основы технической механики. Л.: Судостроение, 1989.