

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования**

**«Воронежский государственный технический
университет»**

Строительно-политехнический колледж

220-2023

ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к выполнению лабораторных работ № 1–5
для студентов специальности**

**12.02.10 «Монтаж, техническое обслуживание
и ремонт биотехнических и медицинских аппаратов и систем»**

Воронеж 2023

УДК 531(07)
ББК 22.2я7

Составитель: преподаватель И. И. Извеков

Прикладная механика: методические указания к выполнению лабораторных работ № 1–5 для студентов специальности 12.02.10 «Монтаж, техническое обслуживание и ремонт биотехнических и медицинских аппаратов и систем»/ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет; сост. И. И. Извеков. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2023. 43 с.

В методических указаниях описаны методики проведения испытаний по определению механических характеристик материалов на растяжение, сжатие, кручение, срез; на определение ударной вязкости металлов.

Предназначены для студентов специальности 12.02.10 «Монтаж, техническое обслуживание и ремонт биотехнических и медицинских аппаратов и систем»

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле ПМ_ЛР_№ 1-5.pdf.

Ил. 17. Табл. 6. Библиогр.: 6 назв.

УДК 531(07)
ББК 22.2я7

Рецензент — В. А. Рябцев, канд. техн. наук, доцент кафедры прикладная математика и механика ВГТУ

*Издается по решению учебно-методического совета
Воронежского государственного технического университета*

ВВЕДЕНИЕ

При расчете напряжений и деформаций элементов конструкции требуется знание механических характеристик материалов, из которых изготовлены детали конструкции. Получить эту информацию возможно только из данных эксперимента. В методических указаниях рассмотрены соответствующие методики по определению механических характеристик материалов.

В целях более эффективного использования времени, отводимого на выполнение лабораторных работ, необходимо, чтобы студенты были заранее подготовлены к лабораторному занятию: они должны отчетливо представлять себе цель каждой работы, ее теоретические основы.

Для проверки готовности выполнения лабораторной работы преподаватель перед началом занятия должен провести контроль знания студентом теории, относящейся к выполнению данной работы.

Лабораторная работа считается выполненной в том случае, если по ней составлен отчет, сформулированы выводы и студент ответил на контрольные вопросы, связанные с выполнением данной работы.

При работе в лаборатории обучающиеся должны строго выполнять требования техники безопасности.

ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ В ЛАБОРАТОРИИ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

1. Выполнение работ студентами производится только в присутствии преподавателя или лаборанта после прохождения инструктажа по технике безопасности и изучения устройства машин.

2. Включать или выключать силовой рубильник имеет право только преподаватель или лаборант.

3. Перед началом работы необходимо проверить надежность защитных ограждений; надежность заземления; исправность захватов; работу испытательной машины на холостом ходу; исправность предохранительного приспособления, запирающего защелку, на маятниковом копре.

4. Во время работы машины запрещается прикасаться к электропроводке; облачиваться или опираться на машину; поправлять образец во время работы машины; класть посторонние предметы на подвижные части машины; стоять в плоскости движения маятника маятникового копра.

5. При работе на маятниковом копре обязательно пользоваться устройством, запирающим защелку. Установку образца, снятие предохранителя и освобождение маятника копра производит только преподаватель или лаборант.

6. Испытание образцов из хрупкого материала производить только в специальном приспособлении.

7. Испытательные машины и другое оборудование лаборатории использовать только по их прямому назначению.

8. Наблюдать за ходом эксперимента разрешается только с лицевой стороны испытательной машины.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИСПЫТАНИЕ МЕТАЛЛОВ НА РАСТЯЖЕНИЕ

1.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Провести испытание малоуглеродистой стали на одноосное статическое растяжение и определить характеристики прочности и пластичности испытываемой стали.
2. Построить условную диаграмму растяжения для испытываемой стали.
3. Определить величину допускаемого напряжения для испытываемой стали, приняв коэффициент запаса прочности $n = 1,5$.

1.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Испытания на одноосное статическое растяжение — наиболее распространенный вид испытаний для оценки механических свойств металлов и сплавов. Объясняется это тем, что они дают наиболее полную информацию о механических свойствах испытываемого материала [1].

Результаты испытаний на растяжение зависят не только от свойств материала, но и от формы и размеров испытываемых образцов, а также от условий их нагружения. Для получения сравнимых результатов условия испытаний стандартизированы. Испытания на растяжение при комнатной температуре регламентирует ГОСТ 1497-84 [3]. В нем даны определения характеристик, устанавливаемых при испытании, определены форма и соотношение размеров стандартных образцов, требования к испытательному оборудованию, а также методика проведения испытаний и обработки результатов.

Для испытаний на растяжение используют образцы с рабочей частью в виде цилиндра (цилиндрические образцы) или стержня с прямоугольным сечением (плоские образцы). На рис. 1.1 показан стандартный цилиндрический образец. Он имеет по концам массивные головки, предназначенные для передачи растягивающего усилия на рабочую часть с начальным диаметром d_0 и начальной длиной l_0 .

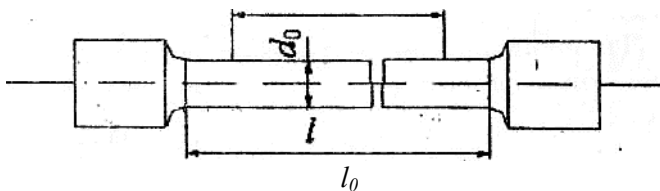


Рис. 1.1. Образец для испытания на растяжение

Поскольку вблизи головок распределение напряжений зависит от характера приложения нагрузки и не является равномерным по сечению, все измерения проводятся на расчетной длине l_0 , несколько меньшей рабочей длины l (см. рис. 1.1).

Для испытаний на растяжение, согласно ГОСТ 1497-84, применяются образцы с начальной расчетной длиной $l_0 = 5,65\sqrt{A_0}$ или $l_0 = 11,3\sqrt{A_0}$, где A_0 — начальная площадь поперечного сечения рабочей части образца.

Образцы с расчетной длиной $l_0 = 5,65\sqrt{A_0}$ именуют короткими, а образцы с $l_0 = 11,3\sqrt{A_0}$ — длинными, причем применение первых предпочтительнее.

Для цилиндрических образцов в качестве основных применяются образцы с диаметром $d_0 = 10$ мм и начальной расчетной длиной $l_0 = 10d_0$ или $l_0 = 5d_0$. Образцы с расчетной длиной $l_0 = 5d_0$ именуются пятикратными, а образцы с $l_0 = 10d_0$ — десятикратными. Начальная рабочая длина испытываемых образцов должна составлять: для цилиндрических образцов — не менее $l_0 + d_0$; для плоских образцов — не менее $l_0 + \frac{b_0}{2}$, где b_0 — начальная ширина рабочей части плоского образца.

При разметке начальной расчетной длины на поверхности образца наносятся риски.

Для проведения испытаний на растяжение используют разрывные и универсальные испытательные машины всех систем при условии соответствия их требованиям ГОСТ 185-84. Эти машины должны обеспечивать надежность центрирования образца в захватах и плавность нагружения при скорости перемещения подвижного захвата не более 20 мм/мин. Кроме того, машины должны быть снабжены диаграммным аппаратом, позволяющим в автоматическом режиме записать диаграмму растяжения, т.е. зависимость между аб-

солютным удлинением образца Δl и вызвавшим его растягивающим усилием F . Диаграмма растяжения, характерная для хрупких металлов, приведена на рис. 1.2, для большинства пластичных металлов — на рис. 1.3, для некоторых пластичных металлов, таких как малоуглеродистая сталь — на рис. 1.4.

Эскизы диаграмм растяжения: хрупкого материала (рис. 1.2), пластичного материала рис. 1.3), малоуглеродистой стали (рис. 1.4).

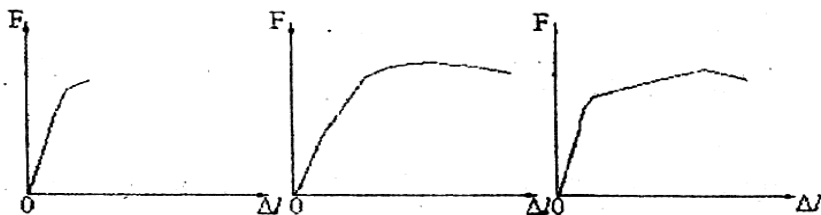


Рис. 1.2. Хрупкий

Рис. 1.3. Пластичный

Рис. 1.4. Сталь Ст.3

По результатам испытания на растяжение определяют две группы характеристик материала — характеристики прочности и характеристики пластичности.

Характеристики прочности

Их определяют с помощью диаграммы растяжения (рис. 1.5) и к ним относят: предел пропорциональности $\sigma_{пц}$; предел упругости (условный) $\sigma_{0,05}$; предел текучести σ_T ; предел прочности (временное сопротивление) σ_b ; истинное сопротивление разрыву σ_k .

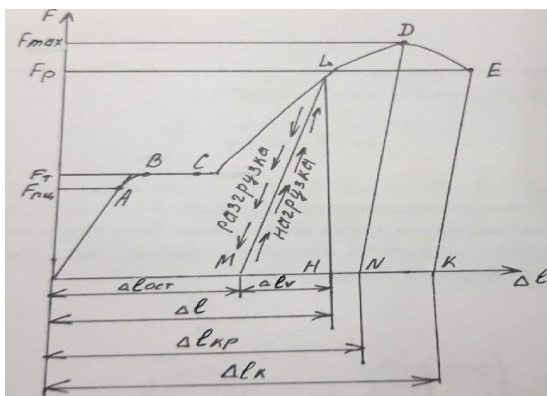


Рис. 1.5. Диаграмма растяжения малоуглеродистой стали

Предел пропорциональности σ_{nc} — наибольшее напряжение, до которого сохраняется линейная зависимость между напряжением и деформацией, т.е. до которого справедлив закон Гука. На практике значение предела пропорциональности

$$\sigma_{nc} = \frac{F_{nc}}{A_0} \quad (1.1)$$

определяют по усилию F_{nc} (ордината последней точки (т. А), лежащей на линейном участке диаграммы растяжения) (см. рис. 1.5).

Предел упругости σ_y — наибольшее напряжение, до которого в материале не возникают остаточные деформации. На практике определяют условный предел упругости $\sigma_{0,05}$ — напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,05 %. По диаграмме растяжения предел упругости не определяют, так как для его определения требуются более точные измерения [2].

Предел текучести (физический) σ_T — наименьшее напряжение, при котором деформация увеличивается без заметного увеличения нагрузки. Физический предел текучести определяют для материалов, диаграммы растяжения которых имеют горизонтальную площадку, называемую площадкой текучести (ВС):

$$\sigma_T = \frac{F_T}{A_0} \quad (1.2)$$

Для материалов, не имеющих на диаграмме растяжения площадки текучести (рис. 1.3), определяют условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ — напряжение, при котором остаточная деформация образца достигает величины 0,2 %. Как видно, эта характеристика отличается от условного предела упругости только величиной допуска на остаточную деформацию.

При увеличении напряжений сверх предела текучести при растяжении происходит упрочнение металла и сопротивление деформации увеличивается, поэтому за участком текучести наблюдается подъем кривой растяжения (участок упрочнения). На этом участке диаграммы образец получает значительные остаточные удлинения. Чтобы убедиться в этом, прекращают нагружение образца в некоторый произвольный момент испытания (точка L). Полное удлинение образца в данный момент отражается отрезком ОН на

оси абсцисс (рис. 1.5). Затем, постепенно разгружая образец, замечают уменьшение его длины, при этом разгрузка изобразится прямой LM, («разгрузка»), параллельной первоначальному участку OA диаграммы. Отрезок MN представляет упругое удлинение образца Δl_y , а отрезок OM — остаточное (пластическое) удлинение $\Delta l_{ост}$. Упругое удлинение подчиняется закону Гука на любой стадии деформации образца.

При повторном нагружении («нагрузка») на диаграмме получится та же прямая ML, и при дальнейшем нагружении получают кривую LDE, являющуюся как бы продолжением предыдущей диаграммы. Следует отметить, что при повторном нагружении пластически деформированного образца линейный участок диаграммы (ML) значительно длиннее упругого участка OA, что свидетельствует о повышении упругих свойств материала при его пластическом деформировании. Это явление называют деформационным упрочнением, или наклёпом, и широко используют на практике.

До точки D рабочая часть образца сохраняет первоначальную форму и удлиняется равномерно. В точке D, соответствующей наибольшему значению нагрузки F_{max} , в одном из сечений рабочей части образца начинается локализация деформации. Ей соответствует местное сужение поперечного сечения образца — «шейка».

По максимальной нагрузке F_{max} (ордината точки D) рассчитывают величину предела прочности.

Предел прочности (временное сопротивление) σ_b — отношение максимального усилия, которое выдерживает образец, к начальной площади поперечного сечения:

$$\sigma_b = \frac{F_{max}}{A_0}. \quad (1.3)$$

С момента образования шейки нагрузка уменьшается, поскольку для деформирования образца в области «шейки», где площадь сечения уменьшается, требуется меньшее усилие. Однако истинное напряжение (отношение нагрузки к текущей площади сечения) продолжает увеличиваться вплоть до разрушения образца в точке E.

По нагрузке F_p (ордината точки E) рассчитывают истинное сопротивление разрыву.

Истинное сопротивление разрыву σ_k — это напряжение, определяемое отношением нагрузки F_p в момент разрыва к площади поперечного сечения образца в месте разрыва A_k :

$$\sigma_k = \frac{F_p}{A_k}. \quad (1.4)$$

Характеристики пластичности

По результатам испытаний на растяжение определяют две стандартные характеристики пластичности: относительное удлинение после разрыва и относительное сужение после разрыва.

Относительное остаточное удлинение образца после разрыва δ — отношение приращения расчетной длины образца после разрушения ($l_k - l_0$) к его начальной длине l_0 , выраженное в процентах:

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100 \% = \frac{\Delta l_k}{l_0} \cdot 100\%, \quad (1.5)$$

где l_k — длина расчетной части образца после разрыва,

Δl_k — остаточная деформация образца после его разрушения.

Поскольку данная характеристика зависит от начальной длины образца, в протоколе испытаний должно быть указано, на какой расчетной длине определено δ .

Относительное сужение после разрыва Ψ — отношение уменьшения площади поперечного сечения образца в месте разрыва к начальной площади поперечного сечения образца A_0 , выраженное в процентах:

$$\Psi = \frac{A_0 - A_k}{A_0} \cdot 100 \% . \quad (1.6)$$

При проектировании технологических процессов, связанных с обработкой металлов давлением, очень часто возникает необходимость знать также величину относительного равномерного удлинения.

Относительное равномерное удлинение образца после разрыва δ_p вычисляется по формуле:

$$\delta_p = \frac{\Delta l_{kp}}{l_0} \cdot 100 \% , \quad (1.7)$$

где Δl_{kp} — остаточная деформация образца в точке D (рис. 5).

Полученная в результате испытаний на растяжение машинная диаграмма растяжения в координатах $(F-\Delta l)$ зависит от исходных размеров испытуемого образца. Чтобы исключить влияние на эту диаграмму размеров образца и, следовательно, чтобы получить диаграмму, характеризующую свойства материала, ее обычно перестраивают в координатах $\sigma = F/A_0$, $\varepsilon = \Delta l/l_0$. Полученную диаграмму растяжения в координатах $(\sigma - \varepsilon)$ называют условной диаграммой растяжения материала, так как напряжение σ в текущий момент деформирования определяется по отношению величины истинной нагрузки F к начальной площади A_0 поперечного сечения образца.

1.3. ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ МАШИНА

Машина УМ-5 предназначена для статических испытаний на растяжение и сжатие. При помощи специальных приспособлений можно производить испытания на срез, изгиб, устойчивость и внецентренное растяжение-сжатие.

Машина УМ-5 (рис. 1.6) состоит из двух вертикальных колонн (8), укрепленных в корпусе (10) и головке (9). На жестком каркасе размещены силоизмерительное устройство (7) и диаграммный аппарат (11). При испытании на растяжение для закрепления образца в захватах (13) и (14) ставят специальные губки. Для круглых образцов — губки с рифленным желобом, для плоских образцов — губки с плоской поверхностью, имеющей насечку.

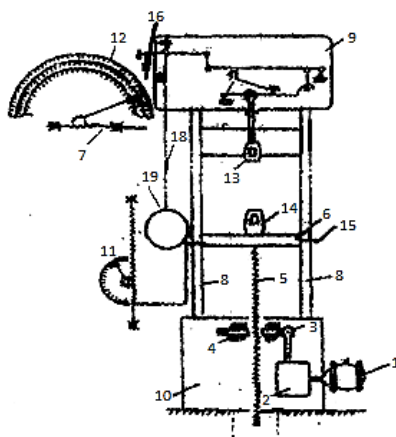


Рис. 1.6. Эскиз испытательной машины УМ - 5

Нагружающее устройство

Нагружение можно осуществлять вручную и механически через электродвигатель (1). До включения электродвигателя включают самотормозящую червячную передачу (3) и (4), отводя штифт коробки ручной передачи (15) в крайнее правое положение. Электродвигатель (1) с помощью коробки скоростей (2) и червячных передач (3),(4) поднимает или опускает винт (5) и подвижную траверсу (6). Если в захватах (13),(14) находится образец, то он будет сжиматься или растягиваться. Нагружение вручную осуществляется с помощью рукоятки через зубчатую передачу в подвижной траверсе, а штифт (15) должен быть в крайнем левом положении, и грузовой винт будет вращаться, опускаясь или поднимаясь по отношению к червячному колесу (4), не имеющему возможности вертикального перемещения.

В коробке скоростей (2) имеются две рукоятки, с помощью которых предусмотрена возможность нагружения с четырьмя скоростями: 4; 10; 20 и 60 мм/мин.

Силовой измерительное устройство

Верхний захват связан с рычагами, размещёнными в верхней головке (9), которые для уменьшения сил трения установлены на двух призмах. Действующая на образец сила передается на маятник (19). Угол отклонения маятника пропорционален величине нагрузки на образец. Отклонение маятника передается на рейку (18), которая вращает стрелку циферблата (12). При самом малом грузе на маятнике предельная нагрузка — 10 кН, при двух грузах (малом и среднем) — 20 кН и при трех грузах — 50 кН.

Для смягчения удара при обратном возвращении маятника после разрушения образца имеется масляный амортизатор (16).

С помощью диаграммного аппарата в процессе всего времени нагружения образца, вплоть до разрушения, снимается машинная диаграмма в координатных осях: по оси ординат — нагрузка, по оси абсцисс — абсолютное удлинение. Изменение длины образца вычерчивается на диаграмме в масштабе 10:1.

Для удобства заправки диаграммного барабана миллиметровой бумагой он установлен на откидной плите.

1.4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Штангенциркулем с точностью $\pm 0,1$ мм измерить начальный диаметр d_0 рабочей части образца и начальную расчетную длину образца l_0 . Убедившись в том, что образец соответствует требованиям ГОСТ 1497-84, данные измерений занести в протокол испытания (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Протокол испытания на растяжение цилиндрического образца

Материал	
Начальный диаметр рабочей части d_0 , мм	
Начальная расчетная длина l_0 , мм	
Минимальный диаметр после разрыва d_k , мм	
Конечная расчетная длина l_k , мм	
Начальная площадь поперечного сечения A_0 , мм ²	
Минимальная площадь поперечного сечения после разрыва A_k , мм ²	
Максимальная нагрузка F_{max} , Н	
Нагрузка на пределе пропорциональности $F_{пу}$, Н	
Нагрузка на пределе текучести F_T , Н	
Нагрузка при разрыве F_p , Н	
Абсолютное равномерное удлинение $\Delta l_{кр}$, мм	
Предел пропорциональности $\sigma_{пу}$, МПа	
Предел текучести σ_T , МПа	
Предел прочности σ_g , МПа	
Истинное сопротивление разрыву σ_k , МПа	
Относительное остаточное удлинение после разрыва δ , %	
Относительное сужение после разрыва Ψ , %	
Относительное равномерное удлинение δ_p , %	

2. Установить образец в захватах испытательной машины, провести испытание до разрушения, записав машинную диаграмму растяжения. Зафиксировать по шкале силоизмерителя максимальное усилие F_{max} и занести в протокол испытания.

3. Измерить штангенциркулем с точностью $\pm 0,1$ мм конечные размеры образца — диаметр в месте разрыва d_k (мм) и конечную расчетную длину l_k (мм). Данные измерений занести в протокол испытания.

4. Обработать машинную диаграмму растяжения образца. Для этого необходимо:

а) нанести на диаграмму координатные оси. Ось абсцисс (ось абсолютных удлинений Δl) проводят горизонтально из начальной точки диаграммы (рис. 1.7). Чтобы провести ось ординат (ось нагрузок F), предварительно находят начало координат — точку O , продолжая прямолинейный участок диаграммы до пересечения с осью абсцисс (см. рис. 1.7). Таким образом, из рассмотрения исключается начальный криволинейный участок диаграммы, который возникает вследствие первоначального обмятия головок образца в захватах машины и выбора зазоров в ее узлах;

б) на диаграмме отметить характерные точки. Продолжая линейный участок диаграммы вверх, находят положение точки A , в которой начинается отклонение зависимости $(F, \Delta l)$ от линейной. Точки B и C обозначают начало и конец площадки текучести. Точка D соответствует максимальной нагрузке, а точка E — разрыву образца. Из точек D и E проводят линии DN и EK , параллельные линейному участку диаграммы OA (см. рис. 1.7);

в) определить масштаб диаграммы по оси нагрузки

$\mu_F = F_{max}/S_{Fmax}$, оси удлинений $\mu_{\Delta l} = (l_k - l_0)/S_{\Delta l k}$, где S_{Fmax} — длина отрезка диаграммы, соответствующая максимальному усилию (см. рис. 1.7), а $S_{\Delta l k}$ — длина участка диаграммы, соответствующая абсолютному остаточному удлинению образца при разрыве.

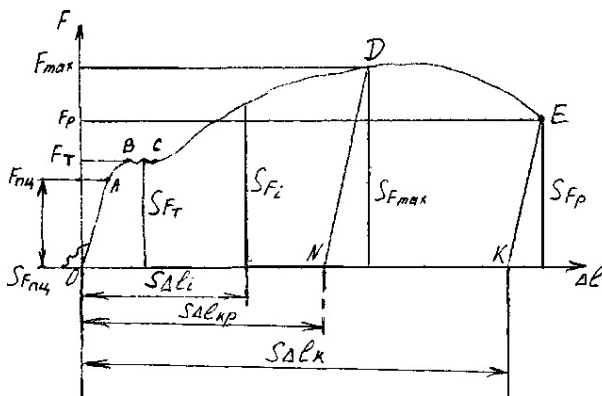


Рис. 1.7. Характерные точки диаграммы растяжения

5. По формулам (1.1)-(1.4) рассчитать характеристики прочности испытанного материала: $\sigma_{нц}$; σ_T ; σ_B ; σ_K и занести в протокол испытания.

6. Используя данные измерений по формулам (1.5)-(1.7), рассчитать характеристики пластичности и занести в протокол испытания.

7. Построить условную диаграмму растяжения в координатах σ – ε . Для этого на диаграмме растяжения образца (F – Δl) наметить 10 точек, включая характерные точки диаграммы. Определить соответствующие этим точкам величины $F_i = \mu_F S_{Fi}$ и $\Delta l_i = \mu_{\Delta l} S_{\Delta l_i}$ (см. рис. 1.7), а по ним вычислить условные напряжения $\sigma_i = F_i/A_0$ и относительные деформации $\varepsilon_i = \Delta l_i/l_0$. Данные занести в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Номер точки	S_{Fi} , мм	F_i , Н	$S_{\Delta l_i}$, мм	Δl_i , мм	σ_i , МПа	ε_i
1						
.						
.						
10						

8. По формуле $[\sigma] = \frac{\sigma_T}{n}$ рассчитать допускаемое напряжение для испытанного материала.

9. По установленным значениям характеристик прочности (σ_T , σ_B) и характеристик пластичности (δ , Ψ) по справочнику механических свойств материалов установить марку испытанной стали и занести ее в протокол испытания.

1.5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Основные формулы и соотношения, необходимые для обработки результатов испытания.

2. Эскиз образца после испытания.

3. Протокол испытания образца на растяжение (табл. 1.1).

4. Диаграмма растяжения образца в координатах « F – Δl »

5. Таблица результатов обработки машинной диаграммы растяжения (табл. 1.2).
6. Условная диаграмма растяжения материала образца.
7. Рассчитанная величина допускаемого напряжения для испытываемого материала.
8. Выводы по лабораторной работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие образцы используют для проведения испытаний на растяжение?
2. Какие требования предъявляют к испытательным машинам для испытаний на растяжение?
3. Какие характеристики прочности определяют по результатам испытаний на растяжение?
4. Какие характеристики пластичности определяют по результатам испытаний на растяжение?
5. В чем заключается явление наклепа?
6. Что называется пределом пропорциональности материала и как он определяется?
7. Что называется пределом упругости материала и как он определяется?
8. Что называется физическим и условным пределом текучести и как они определяются?
9. Какой участок на диаграмме растяжения называют участком упрочнения и почему?
10. Как происходит разгрузка образца?
11. Что называется временным сопротивлением (пределом прочности) материала и как оно определяется?
12. Из каких частей складывается текущее полное удлинение образца?
13. Назвать характеристики пластичности материала.
14. Как определяется относительное равномерное удлинение образца?
15. Как определяется относительное удлинение при разрыве образца?
16. Как определяется относительное сужение при разрыве образца?
17. Как определяются масштабы диаграммы по осям F и Δl ?
18. В каких координатах строится условная диаграмма растяжения материала?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИСПЫТАНИЕ МЕТАЛЛОВ НА СЖАТИЕ

2.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с методикой испытания металлов на сжатие.
2. Определить предел прочности хрупкого материала при сжатии.
3. Установить для образца из хрупкого материала величину допускаемого напряжения при сжатии.
4. Построить кривую упрочнения пластичного материала по результатам испытаний на сжатие.

2.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Испытание на одноосное статическое сжатие является вторым по распространённости (после испытания на растяжение) видом испытаний, применяемым для оценки механических свойств металлов и сплавов. Проведение испытаний металлов на сжатие позволяет расширить и дополнить ту информацию о механических характеристиках, которую получают при проведении испытаний на растяжение. Так, например, для металлов, по-разному работающих на растяжение и сжатие (типа чугуна), по результатам испытаний на сжатие определяют предел прочности при сжатии. При испытании на сжатие пластичного металла устанавливают зависимость между напряжением и деформацией в области больших пластических деформаций.

Метод испытаний на сжатие стандартизирован и регламентируется ГОСТ 25.503-80 [4]. В нём приведены определения механических характеристик, устанавливаемых при этом виде испытания, даны типовые формы образцов, приведены основные требования к испытательному оборудованию, методике проведения испытаний и обработки результатов.

Основной механической характеристикой, устанавливаемой при испытании на сжатие пластичных материалов (сталей, цветных металлов и их сплавов и др.), является кривая упрочнения, которая определяет поведение этих материалов при пластическом деформировании. Кривой упрочнения (течения) называют зависимость между истинным напряжением σ_s и истинной (логарифмической) деформацией e . Истинное напряжение рассчитывают по формуле

$$\sigma_S = F / A , \quad (2.1)$$

где F — осевая сжимающая нагрузка, действующая на образец в данный момент испытания; A — истинная площадь поперечного сечения образца после испытания до заданной степени деформации (нагружения).

Логарифмическую деформацию определяют по соотношению

$$e = \ln(h_0 / h) , \quad (2.2)$$

где h_0 — высота образца до испытания; h — высота образца после испытания до заданной степени деформации.

На рис. 2.1 представлены типовые кривые упрочнения для малоуглеродистой (кривая 1) и легированной (кривая 2) сталей.

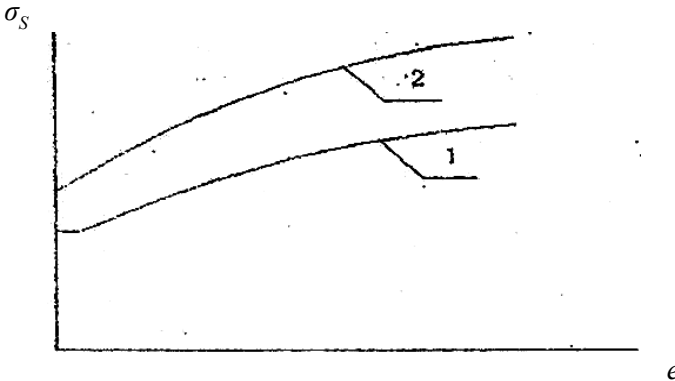


Рис. 2.1. Кривые упрочнения малоуглеродистой и легированной сталей

Кривая упрочнения характеризует поведение материала за пределом упругости. В отличие от неё диаграмма сжатия включает в себя, кроме зоны упрочнения, ещё и участок упругой деформации. Диаграммой сжатия называют зависимость между условным напряжением σ и относительной деформацией ε . Условное напряжение рассчитывают по формуле

$$\sigma = F / A_0 , \quad (2.3)$$

где A_0 — начальная площадь поперечного сечения образца.

Относительную деформацию определяют по соотношению

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h}{h_0} . \quad (2.4)$$

В упругой области диаграмма сжатия пластичного материала совпадает с диаграммой растяжения. Поэтому для большинства пластичных металлов и сплавов модуль Юнга, а также пределы пропорциональности, упругости и текучести при растяжении и сжатии оказываются одинаковыми.

При напряжениях, превышающих предел текучести, диаграмма сжатия для пластичного материала монотонно возрастает (рис. 2.2, кривая 1).

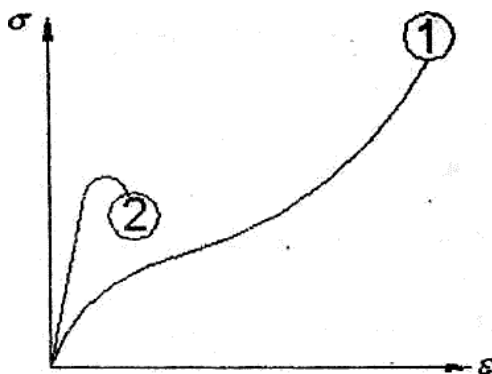


Рис. 2.2. Диаграммы сжатия: 1-пластичного материала, 2-хрупкого материала

В то же время на диаграмме растяжения напряжения возрастают только до достижения предела прочности, а затем следует уменьшение напряжений с последующим разрушением образца. Хрупкие материалы (чугун, бронза, титан, бетон и др.) сопротивляются сжатию лучше, чем растяжению.

Предел прочности при сжатии таких материалов в несколько раз превышает соответствующий предел прочности при растяжении. На диаграмме сжатия хрупкого материала (см. рис. 2.2, кривая 2) по существу отсутствует зона упрочнения, и за участком упругого деформирования практически сразу следует разрушение.

Основной механической характеристикой, устанавливаемой при испытании на сжатие хрупкого материала, является предел прочности при сжатии $\sigma_{\text{сж}}$, под которым понимают напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке F_{max} , предшествующей разрушению:

$$\sigma_{\text{сж}} = F_{\text{max}} / A_0, \quad (2.5)$$

Разрушение при сжатии образца из хрупкого материала происходит путём сдвига одной части образца относительно другой по плоскостям, составляющим угол 45° с осью образца. В этих плоскостях происходят максимальные сдвиговые деформации и действуют максимальные касательные напряжения, которые и являются причиной разрушения образца, так как хрупкий материал плохо сопротивляется сдвигу.

По установленной при испытании на сжатие хрупкого материала величине предела прочности при сжатии $\sigma_{\text{сж}}$ рассчитывают допускаемое напряжение на сжатие:

$$[\sigma]_{\text{сж}} = \sigma_{\text{сж}} / n, \quad (2.6)$$

где n — коэффициент запаса прочности, величина которого в машиностроении назначается обычно в пределах 1,3-1,5, в зависимости от степени ответственности детали или конструкции.

Для испытания на сжатие, согласно [4], используют короткие цилиндрические образцы диаметром d_0 и высотой h_0 . Диаметр образца d_0 выбирают в зависимости от прочностных свойств испытываемого материала и мощности используемой испытательной машины. Высоту образца h_0 назначают с учётом выбранного диаметра по соотношению $\frac{h_0}{d_0} \leq 3$, так как более высокие образцы при сжатии теряют устойчивость и изгибаются, а при испытании более коротких образцов на характеристики прочности заметное искажающее влияние оказывают силы трения на торцах образца.

2.3. ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ МАШИНА

Гидравлический пресс 2ПГ-250

Гидравлический пресс предназначен для проведения испытаний образцов и деталей из различных материалов на сжатие

при статическом нагружении. Максимальная нагрузка пресса — 2500 кН.

Общий вид пресса представлен на рис. 2.3.

Справа расположен пульт управления, в котором помещают насосную установку и силоизмерительное устройство с циферблатом (1). С помощью двигателя (7) подвижная траверса (5) приводится в соприкосновение с деталью (образцом), помещенной на плите (6). Пресс имеет два диапазона нагрузок. Если предполагается, что максимальная нагрузка не превышает 1000 кН, то штифт (2) должен быть поставлен в первое положение (на штифте видна цифра 1). Если максимальная нагрузка выше 1000 кН, необходимо поставить штифт во второе положение (на штифте остается цифра 2). Установив штифт (2) в нужное положение, открывают вентиль сброса масла (3) и включают электродвигатель насоса. Открыв вентиль (4) — вентиль регулировки подачи масла, закрывают вентиль (3) — вентиль сброса масла.

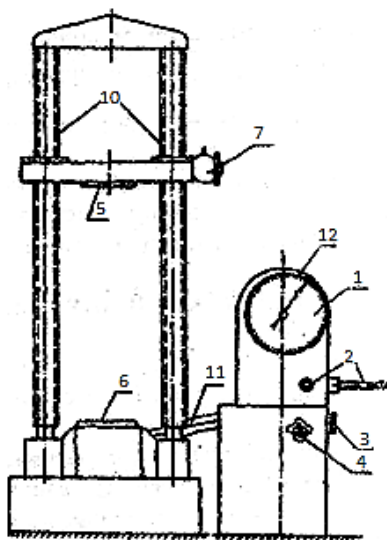


Рис. 2.3. Эскиз пресса гидравлического 2ПГ-250

Не рекомендуется поднимать нижнюю опорную плиту (6) более чем на 50 мм. После проведения испытаний открывают вентиль сброса масла (3) и, сняв нагрузку, поднимают на необходимую высоту подвижную траверсу (7).

2.4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Штангенциркулем с точностью $\pm 0,1$ мм измерить диаметр d_0 и высоту h_0 образца, изготовленного из пластичного материала (малоуглеродистой стали), а также образца из хрупкого материала (серого чугуна).

2. Установить чугунный образец в специальный стальной защитный стакан, обеспечивающий безопасность при проведении испытаний и центрирование сжимающей нагрузки. Разместить стакан с образцом в центре нижней плиты гидравлического пресса 2ПГ-250.

3. Провести сжатие чугунного образца до разрушения и зафиксировать по шкале силоизмерительного устройства пресса величину наибольшей сжимающей нагрузки $F_{\max}$, предшествующей разрушению. Рассчитать предел прочности при сжатии чугуна по формуле (2.5) и определить допускаемое напряжение на сжатие для этого материала по формуле (2.6), приняв коэффициент запаса прочности $n = 1,5$.

4. Для построения кривой упрочнения стали при сжатии произвести ступенчатое нагружение (6 ступеней) стального образца. Для уменьшения влияния сил трения разместить на его торцах накладки из алюминиевой (фторопластовой) фольги. На каждой ступени нагружения после достижения заданной нагрузки F произвести разгрузку образца и измерить штангенциркулем с точностью $\pm 0,1$ мм его текущие размеры — высоту h и наибольший диаметр d поперечного сечения. Значение достигнутой нагрузки и результаты измерений занести в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Нагрузка F , кН	Размеры образца		Площадь сечения A , мм ²	Истинное напряжение σ_s , МПа	Логарифмиче- ская деформация, e
	h , мм	d , мм			
1					
·					
·					
6					

При проведении испытаний на сжатие пластичного металла истинную площадь A поперечного сечения образца после испытания

до заданной степени деформации можно определять из условия постоянства объема образца при его пластическом деформировании. Из этого условия следует:

$$A = A_0 h_0 / h. \quad (2.7)$$

В случае использования соотношения (2.7) достаточно измерить размеры образца d_0 , h_0 до деформирования и его высоту h после деформирования.

Для каждой ступени нагружения рассчитать по формуле (2.1) истинное напряжение, а по формуле (2.2) — логарифмическую деформацию и занести результаты расчёта в таблицу. По данным таблицы построить кривую упрочнения стали при сжатии.

2.5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Основные формулы и соотношения, необходимые для обработки результатов испытания.
2. Эскизы испытанных образцов из хрупкого и пластического материалов.
3. Величины предела прочности и допускаемого напряжения для хрупкого материала.
4. Кривая упрочнения для пластичного материала.
5. Выводы по лабораторной работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чём состоит цель работы?
2. В чём заключается различие диаграмм сжатия хрупкого и пластичного материалов?
3. Из каких условий выбираются размеры образца для испытания на сжатие?
4. Дать краткую характеристику испытательной машины, использованной при проведении испытаний на сжатие.
5. Каков порядок проведения испытания на сжатие образца из хрупкого материала?
6. В каком порядке проводится испытание на сжатие пластичного материала?
7. Какую характеристику прочности определяют при испытании на сжатие хрупкого материала?
8. Чем объяснить разрушение чугуна образца по плоскостям, ориентированным под углом 45° к оси образца?

9. Как определяется предел прочности при сжатии чугунного образца?

10. С какой целью и как уменьшается влияние сил трения при испытании на сжатие?

11. Какую механическую характеристику определяют при испытании на сжатие пластичного материала?

12. Как определяется деформация при сжатии стального образца?

13. Как рассчитать истинное напряжение?

14. В чём состоит обработка экспериментальных данных?

15. Как строится кривая упрочнения стали при сжатии?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИСПЫТАНИЕ СТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА НА КРУЧЕНИЕ

3.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Экспериментально проверить закон Гука при кручении.

2. Определить модуль сдвига для стали по результатам испытаний на кручение.

3. Рассчитать теоретическое значение модуля сдвига для данной марки стали.

4. Оценить расхождение между теоретическим и экспериментальными значениями модуля сдвига материала образца.

3.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Испытание на кручение применяется для определения механических свойств металлов и сплавов. Метод испытаний на кручение стандартизирован и регламентируется ГОСТ 3565-80 [5]. В нем приведены определения механических характеристик, устанавливаемых при испытании, даны форма и размеры образцов, представлены основные требования к испытательному оборудованию, методики проведения испытаний и обработки результатов.

При кручении реализуется напряженное состояние чистого сдвига. В упругой области зависимость между касательным напряжением τ и относительным углом сдвига γ определяется законом Гука при сдвиге [1]:

$$\tau = G \cdot \gamma. \quad (3.1)$$

Коэффициент пропорциональности G носит название модуля сдвига и характеризует жесткость материала. Из выражения (3.1) следует, что при одной и той же величине касательного напряжения чем больше величина G , тем меньше γ , т.е. тем менее деформируемым, более жестким будет материал. Между модулем сдвига G , модулем упругости первого рода E и коэффициентом Пуассона μ существует зависимость [1]:

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)}. \quad (3.2)$$

В связи с тем, что проверить закон Гука в форме (3.1) при испытании на кручение не представляется возможным, его приводят к зависимости между крутящим моментом M_k и абсолютным углом закручивания φ . С этой целью в соотношение (3.1) подставляют выражение для определения относительного угла сдвига [1]:

$$\gamma = \frac{\varphi}{l} \cdot \rho, \quad (3.3)$$

где l — расчетная длина образца; ρ — полярная координата точки, в которой определяется значение γ , отсчитываемая от оси образца.

Касательное напряжение при кручении, вычисляется [1] по формуле

$$\tau = \frac{M_k}{I_p} \cdot \rho, \quad (3.4)$$

где $I_p = \frac{\pi d^4}{32}$ — полярный момент инерции круглого сплошного сечения. Здесь d — диаметр рабочей части образца (рис. 3.1).

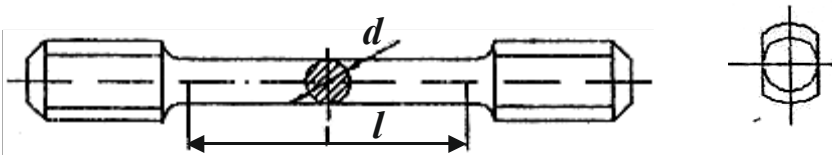


Рис. 3.1. Образец для испытания на кручение

После подстановки формул (3.3) и (3.4) в выражение (3.1) получают развернутый закон Гука при кручении:

$$\varphi = \frac{M_k \cdot l}{G \cdot I_\rho} . \quad (3.5)$$

Этот закон устанавливает линейную зависимость между крутящим моментом M_k и абсолютным углом закручивания φ сечений, расположенных на расстоянии l друг от друга.

Таким образом, выполняя экспериментальную проверку справедливости закона Гука при кручении для исследуемого материала, необходимо убедиться в линейной зависимости между крутящим моментом M_k и углом закручивания сечения φ . Располагая установленными в ходе испытания значениями M_k и φ , можно рассчитать экспериментальное значение модуля сдвига G по формуле, следующей из развернутого закона Гука при кручении (3.5):

$$G_s = \frac{M_k \cdot l}{\varphi \cdot I_\rho} . \quad (3.6)$$

Для повышения точности экспериментального определения модуля сдвига необходимо осуществлять ступенчатое нагружение образца равными по величине вращающими моментами.

Для испытания на кручение применяют цилиндрические образцы (см. рис. 3.1), изготовленные согласно [5] с диаметром рабочей части d , расчетной длиной l и головками на концах для закрепления в захватах испытательной машины. Для экспериментального определения угла закручивания φ в центральной части образца до начала испытания устанавливают угломер Бояршинова (рис. 3.2).

Угломер состоит из двух колец (1), на одном из которых крепится упорная планка (2), а на другом — кронштейн (3), удерживающий индикатор часового типа (4) с ценой деления 0,01 мм. При закручивании образца происходит взаимный поворот сечений, в которых жестко закреплены кольца (1).

При этом упорная планка (2) упирается в измерительный наконечник индикатора (4), по шкале которого фиксируют показания, пропорциональные углу закручивания φ (рис. 3.3).

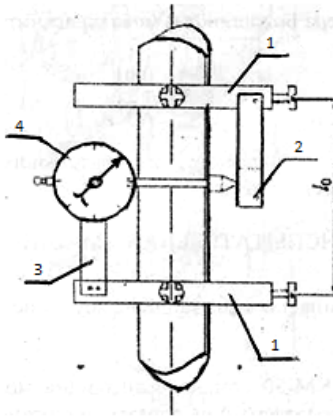


Рис. 3.2. Эскиз приспособления для испытания на кручение

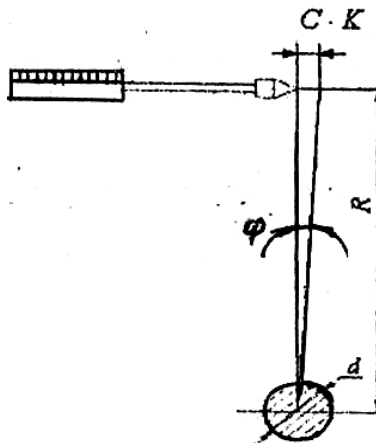


Рис. 3.3. Схема для определения абсолютного угла закручивания

Цену деления индикатора в угловом измерении (цену деления угломера Бояршинова) можно рассчитать по формуле

$$c \approx \frac{0,01}{R}, \quad (3.7)$$

где R — удаление измерительного наконечника индикатора от оси образца.

3.3. ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ МАШИНА

Машина для испытаний на кручение КМ-50

Машина КМ-50 создает вращающий момент величиной до 500 Нм, передаваемый на образец, и служит для испытаний на кручение образцов различного поперечного сечения. Схема машины представлена на рис. 3.4.

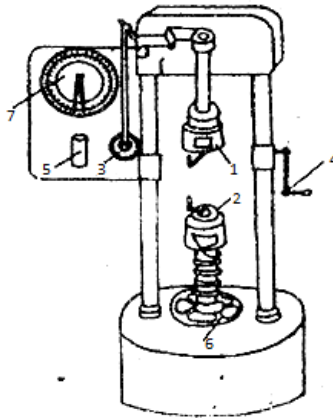


Рис. 3.4. Эскиз испытательной машины на кручение КМ - 50

При испытании на кручение определяют угол закручивания образца в зависимости от величины крутящего момента.

Испытываемый образец закрепляют в захватах (1) и (2). При установке образца нижний захват можно вручную перемещать вверх или вниз с помощью маховика (6). Правильное центрирование образца осуществляется в центральных гнездах захватов.

Вращение нижнего захвата производят вручную рукояткой (4) или электродвигателем. Верхний захват (1) связан через кинематическую цепь с силоизмерительным устройством и циферблатом (7), а также с пишущим устройством (5).

На маятнике (3) установлены три груза, уравнивающие вращающие моменты, соответственно 500 Нм, 200 Нм, 100 Нм. Соответственно на циферблате имеется три шкалы силоизмерительного устройства. Если на маятнике находятся три груза, то величина вращающего момента отсчитывается по внутренней шкале, при двух грузах — по средней, при одном, самом малом грузе, — по наружной шкале.

3.4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Штангенциркулем с точностью $\pm 0,1$ мм измерить диаметр образца d , базу угломера l_0 (рис. 3.2), равную длине цилиндрической части образца, на которой производят измерение угла закручивания и удаление R измерительного наконечника индикатора от оси образца (рис. 3.3).

2. Закрепить образец с установленным на нем угломером Бояршинова в захватах испытательной машины на кручение КМ-50. Нагрузить образец предварительно вращающим моментом $M = 50$ Нм для того, чтобы устранить его проскальзывание в захватах испытательной машины. Установить индикатор угломера на ноль.

3. Произвести ступенчатое нагружение образца вращающими моментами от $M = 50$ Нм до максимального значения $M = 450$ Нм. Величину вращающего момента M и показания K индикатора угломера Бояршинова на каждой ступени нагружения занести в табл.3.1.

Таблица 3.1

M , Нм	K (показание индикатора)	φ , рад	$\Delta\varphi$, рад

4. По формуле (3.7) рассчитать цену деления индикатора в угловом измерении (цену деления угломера Бояршинова).

На каждом этапе нагружения вычислить абсолютный угол закручивания (рис. 3.3) по формуле

$$\varphi = C \cdot K . \quad (3.8)$$

Результаты вычислений занести в таблицу.

5. По результатам испытаний построить график зависимости угла закручивания φ от величины, крутящего момента $M_k = M$. Если эта зависимость будет близка к линейной, то для исследованного материала закон Гука при кручении (3.5) находит свое экспериментальное подтверждение.

6. Вычислить экспериментальное значение модуля сдвига G_s по формуле (3.6), записанной в приращениях:

$$G_3 = \frac{\Delta M_K l_0}{\Delta \varphi_{cp} l_p}, \quad (3.9)$$

где ΔM_K — приращение крутящего момента на одну ступень нагружения; l_0 — база угломера (рис. 3.2); $\Delta \varphi_{cp}$ — среднеарифметическое значение приращения угла закручивания, приходящееся на одну ступень нагружения:

$$\Delta \varphi_{cp} = \frac{c}{n} \sum_{i=1}^n \Delta K_i, \quad (3.10)$$

где n — число ступеней нагружения.

7. Рассчитать теоретическое значение модуля сдвига G по формуле (3.2), приняв для стали $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, $\mu = 0,27$.

8. Вычислить расхождение между экспериментальным и теоретическим значениями модуля сдвига:

$$\Delta = \frac{|G_3 - G|}{G_3} \cdot 100 \%. \quad (3.11)$$

3.5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Основные формулы и соотношения, необходимые для обработки результатов испытания.

2. График зависимости ($M_K - \varphi$) с выводом о выполнимости закона Гука для испытанного стального образца.

3. Экспериментальное и теоретическое значения модуля сдвига и величина расхождения между ними в процентах.

4. Выводы по лабораторной работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем состоит цель работы?
2. Какое свойство материала характеризует модуль сдвига?
3. Какая существует теоретическая зависимость между тремя упругими постоянными материала?
4. Какая аналитическая зависимость существует между углом закручивания и крутящим моментом?
5. Каков принцип действия угломера Бояршинова?
6. Как определить цену деления угломера?
7. Можно ли и как повысить точность измерения угла закручивания?

8. Дать краткую характеристику испытательной машины КМ-50.
9. Каков порядок проведения испытаний на кручение?
10. С какой целью производят нагружение образца равными ступенями?
11. Как экспериментально определяется абсолютный угол закручивания?
12. Как экспериментально определяют модуль сдвига материала?
13. В чем состоит обработка экспериментальных данных?
14. Как экспериментально проверяется закон Гука при кручении?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ МЕТАЛЛОВ

4.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с методикой испытания металлов на ударный изгиб.
2. Определить ударную вязкость стали и чугуна.

4.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Механические характеристики металлов в значительной степени зависят от скорости приложения нагрузки. При динамическом нагружении возрастает модуль упругости материала E , повышаются характеристики прочности (предел текучести σ_T и предел прочности σ_B) при одновременном снижении характеристик пластичности (δ , Ψ). В связи с этим полученные при статических испытаниях, т.е. при очень медленно изменяющихся нагрузках, характеристики материала не могут служить для оценки его способности сопротивляться ударному нагружению.

Для оценки способности материала сопротивляться ударным нагрузкам на практике широко применяются испытания на ударный изгиб образцов с надрезом (концентратором напряжений). Испытания проводятся на машинах, называемых маятниковыми копрами, и заключаются в разрушении образца с концентратором посередине одним ударом тяжёлого маятника [6].

По результатам испытания определяют ударную вязкость материала a . Под ударной вязкостью понимают работу W , затраченную на ударный излом образца, отнесенную к начальной площади поперечного сечения образца A_0 в месте удара [2]:

$$a = P / A_0 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{м}^2} \right). \quad (4.1)$$

Хотя данные об ударной вязкости не могут быть использованы при расчёте на прочность, они позволяют оценить особое свойство металла (его склонность к хрупкому разрушению при ударном нагружении) и решить вопрос о применимости того или иного материала для изготовления деталей, работающих при ударных нагрузках.

Низкая ударная вязкость служит основанием для отбраковки материала. Стали, применяемые для изготовления деталей, работающих при динамических нагрузках, должны иметь ударную вязкость не менее $(8 \div 10) \cdot 10^5 \text{ Дж/м}^2$.

Однако величина ударной вязкости зависит не только от материала образца, но и от его формы и размеров, а также от условий испытания (формы и размеров ударяющего тела, его скорости). Поэтому для получения сравнимых результатов испытания необходимо проводить в строгом соответствии с требованиями ГОСТ 9454-78 [6], который устанавливает форму и размеры образцов, применяемых при испытаниях на ударный изгиб. В качестве основных применяют образцы квадратного поперечного сечения, ослабленные надрезом (концентратором напряжений) типа U (рис. 4.1) или V (рис. 4.2). Образцы с концентратором типа V применяются при выборе и приёмочном контроле металлов и сплавов для конструкций повышенной степени надёжности (летательные аппараты, транспортные средства, сосуды давления и т.п.).

Надрез на образце должен быть строго перпендикулярен к его граням. Риски на поверхности концентраторов типа U и V , видимые невооружённым глазом, не допускаются.

Смысл нанесения надреза заключается в том, что у его дна при ударе возникает объёмное напряжённое состояние с положительными главными напряжениями.

Эти напряжения затрудняют пластическую деформацию в материале образца. Таким образом, надрезанные образцы позволяют оценить склонность материала к хрупкости в экстремальных, т.е. наиболее неблагоприятных, условиях трёхосного растяжения.

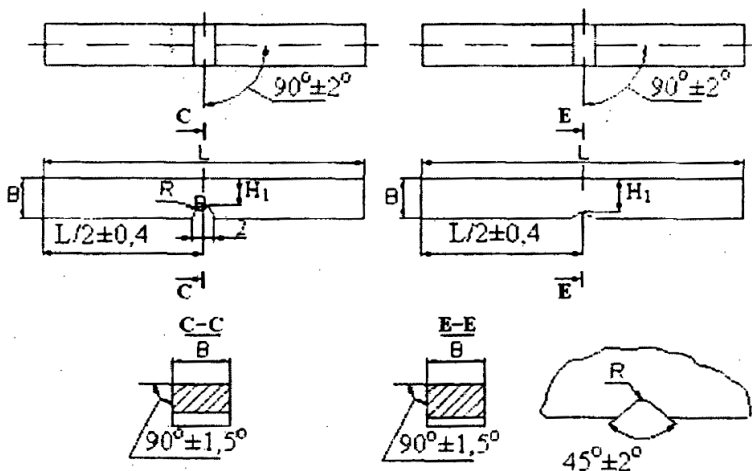


Рис. 4.1. Образец с U
надрезом

Рис. 4.2. Образец
с V надрезом

4.3. ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ МАШИНА

Маятниковый копер МК-30

Для испытания образцов на ударный изгиб, согласно ГОСТ 9454-78, применяют маятниковые копры с максимальной энергией удара маятника не более 294 Дж. Допускается применять копры с меньшей максимальной энергией удара маятника. Максимальная энергия удара маятника должна быть такой, чтобы значение работы удара составляло не менее 10 % от максимальной энергии удара применяемого маятника. Скорость движения маятника в момент удара должна быть $5 \pm 0,5$ м/с. При работе на маятниковых копрах необходимо соблюдать требования безопасности: а) оградить траекторию движения маятника копра; б) сделать ограждение для разлетающихся осколков образца. Маятниковый копер МК-30 с максимальной энергией удара маятника 294 Дж, схема которого приведена на рис. 4., состоит из чугунной станины (1) с двумя вертикальными стойками (2). В верхней части этих стоек на горизонтальной оси подвешен тяжелый маятник (3). Он представляет собой диск с вырезом. На этой же оси подвешена подъемная рама (4), которую можно установить на любой высоте с помощью собачки храпового колеса. Маятник крепится к подъемной раме и удерживается защел-

кой (6). В начале испытания подъемную раму вместе с маятником вручную поднимают в верхнее исходное положение. Образец из испытываемого материала устанавливают на закаленные опоры (5), смонтированные на станине. Остановка маятника при обратном холостом ходе производится ременным тормозом.

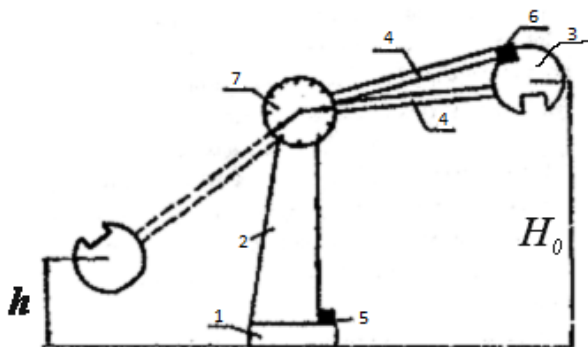


Рис. 4.3. Эскиз маятникового копра МК - 30

4.4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Измерить штангенциркулем с точностью $\pm 0,1$ мм размеры B , H_1 поперечного сечения образца в месте надреза и рассчитать площадь этого сечения. Результаты занести в таблицу.

2. Ознакомиться с устройством копра и проверить его работоспособность. Для этого необходимо поставить маятник на защёлку подъемной рамы и поднять на некоторую высоту H_0 , зафиксировав при этом по шкале измерительного устройства (7) запасённую потенциальную энергию P_0 . Отпустить защёлку и пустить маятник вхолостую (т.е. без установки образца). После остановки маятника зафиксировать по шкале измерительного устройства остаточную энергию P_1 . Если разность $P_0 - P_1$ не превышает 0,5 % от максимальной энергии маятника (но не более 0,98 Дж), то копер вполне работоспособен.

3. Поставить маятник на защёлку и вместе с подъёмной рамой поднять на высоту 1,2 м. Зафиксировать по шкале измерительного устройства запасённую энергию P_0 и занести в таблицу.

4. Установить образец на опоры копра. Установка образца должна проводиться таким образом, чтобы обеспечить симметрич-

ное расположение концентратора относительно опор с погрешностью не более $\pm 0,5$ мм.

Внимание! Установку образца на опоры, подъём и пуск маятника производит только преподаватель или лаборант.

5. Отпустить защёлку. Маятник производит удар по образцу и, если запасённая энергия достаточна, разрушает его. После остановки маятника зафиксировать на измерительном устройстве остаточную энергию маятника Π_1 и занести это значение в таблицу.

Рассчитать энергию Π , затраченную на ударное разрушение образца:

$$\Pi = \Pi_0 - \Pi_1. \quad (4.2)$$

Определить по формуле (4.1) ударную вязкость материала. Результат занести в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Материал	Размеры образца, мм		Площадь $A_0, \text{м}^2$	$\Pi_0,$ Дж	$\Pi_1,$ Дж	$\Pi,$ Дж	$a,$ $\frac{\text{Дж}}{\text{м}^2}$
	H_l	B					
Сталь							
Чугун							

По результатам работы необходимо сделать вывод о том, какой из испытанных материалов предпочтительней использовать при изготовлении деталей, работающих при ударных нагрузках.

4.5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Выписать основные формулы и соотношения, необходимые для обработки результатов испытания.

2. Результаты эксперимента, представленные в таблице, и вывод о предпочтительном использовании материала, работающего в условиях ударного нагружения.

3. Выводы по лабораторной работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как зависят механические характеристики материала от скорости приложения нагрузки?

2. Как определяется ударная вязкость?
3. Какие требования предъявляются к образцам для испытаний на ударный изгиб?
4. Дать характеристику испытательной машины.
5. Каков порядок проведения испытаний на ударный изгиб?
6. С какой целью делается надрез на образце?
7. От каких факторов зависит тип надреза на образце?
8. С какой целью определяется ударная вязкость материала?
9. От каких факторов зависит величина ударной вязкости материала?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ИСПЫТАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ НА СРЕЗ

5.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с методикой испытания образцов на срез.
2. Определить предел прочности материала на срез испытываемых образцов.
3. Рассчитать величину допускаемого напряжения на срез испытываемых образцов.

5.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

На деформацию среза рассчитывают в основном детали для разъемных и неразъемных соединений: штифты, шпонки, болты (плотно вставленные в отверстия), заклепки, угловые швы сварных соединений.

При расчетах считается, что в плоскости среза (сдвига) возникает только один внутренний силовой фактор Q — поперечная сила и касательные напряжения среза $\tau_{ср}$ в плоскости среза распределены равномерно:

$$\tau_{ср} = \frac{Q}{A_{ср}}, \quad (5.1)$$

где $A_{ср}$ — площадь поверхности среза.

Условие прочности на срез

$$\tau_{cp} \leq [\tau_{cp}] ,$$

где $[\tau_{cp}]$ — допускаемое напряжение на срез,

$$[\tau_{cp}] = \frac{\tau_{ncp}}{n} , \quad (5.2)$$

где τ_{ncp} — предел прочности материала детали на срез; n — коэффициент запаса прочности.

Условность расчетов на срез состоит прежде всего в том, что в действительности при деформации сдвига касательные напряжения в плоскости среза распределяются неравномерно и, кроме того, рассматриваемый элемент конструкции испытывает действие деформаций смятия и изгиба.

При расчетах величина предела прочности на срез τ_{ncp} имеет практическую ценность в том случае, если испытание образца в лабораторных условиях будет близко к условиям работы детали на срез в реальной конструкции.

Установлено, что между τ_{ncp} и пределом прочности материала на растяжение σ_{ncp} существует устойчивое соотношение:

$$\tau_{ncp} = (0,6 \dots 0,8) \cdot \sigma_{ncp} , \quad (5.3)$$

а также справедливо соотношение

$$[\tau_{cp}] = (0,25 \dots 0,35) \cdot \sigma_T , \quad (5.4)$$

где σ_T — предел текучести материала детали.

5.3. ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

В инженерных конструкциях детали, работающие на срез, в большинстве случаев имеют две плоскости среза, поэтому в лабораторных условиях используется приспособление, в котором срез образца осуществляется по двум плоскостям (рисунок), где 1 — образец, 2 — пластина, 3 — «вилка».

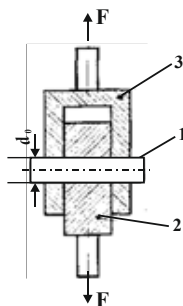


Рис.5.1 Эскиз приспособления на срез

Как правило, для испытания на срез применяют образцы цилиндрической формы, у которых в поперечном сечении круг диаметром d_0 (см. рисунок).

5.4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Измерить диаметр поперечного сечения образца. Образец вставить в приспособление, приспособление установить в захваты (13) и (14) испытательной машины на растяжение УМ-5 (рис. 1.6). Включить электродвигатель испытательной машины УМ-5 и по шкале силоизмерительного устройства (12) машины наблюдать за величиной силы растяжения; зафиксировать величину нагрузки F_{max} , при которой образец разрушится.

Вычислить предел прочности материала образца на срез:

$$\tau_{нч_{ср}} = \frac{F_{max}}{2A_0},$$

где $A_0 = \frac{\pi d_0^2}{4}$ — площадь поперечного сечения образца до нагружения.

Задавшись величиной n , вычислить допускаемое напряжение среза по формуле (5.2).

Результаты эксперимента занести в табл.5.1.

Таблица 5.1

Номер п/п	Мате- риалы образца	d_0 , мм	A_0 , мм ²	F_{max} , Н	$\tau_{нч_{ср}}$, МПа	n	$[\tau_{ср}]$, МПа
1							
2							
.							
5							

Эксперимент повторить для образцов, материалы которых представлены в таблице.

Если в лабораторной работе № 1 «Испытание металлов на растяжение» эксперимент выполнялся с образцом той же марки стали, что и в данной работе, проверить справедливость соотношений (5.3), (5.4).

5.5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Эскиз образца.
3. Эскиз приспособления для испытания образцов на срез.
4. Заполненная таблица испытания образцов на срез.
5. Выводы по лабораторной работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой вид деформации детали называется сдвигом?
2. Что понимается под термином «срез»?
3. Условие прочности на срез.
4. От каких факторов зависит величина напряжения среза?
5. Как рассчитать допускаемое напряжение на срез?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лабораторные занятия призваны углубить и закрепить теоретические основы курса прикладной механики, что, в свою очередь, способствует развитию у студентов умения применять полученные знания при расчете элементов конструкции на прочность, жесткость, устойчивость.

Методические указания позволяют студенту изучить конструкцию и принцип действия лабораторного оборудования, знакомят студентов с методиками проведения механических испытаний материалов, применяемых в инженерной практике. В процессе выполнения лабораторных работ студенты закрепляют навыки в использовании измерительными инструментами и приборами, в выполнении эскизов и схем с реальных объектов исследования, развивают умение пользоваться ГОСТами, нормами и другим справочным материалом.

Лабораторные работы позволяют студентам получить практические навыки необходимые для проектирования, изготовления и эксплуатации деталей биотехнических и медицинских аппаратов и систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Олофинская В. П. Техническая механика. / В. П. Олофинская. – Москва : Форум-Инфра-М, 2015. – 263 с.
2. Вереина А. И. Техническая механика : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / А. И. Вереина. – Москва : Издательский центр «Академия», 2015. – 223 с.
3. ГОСТ 1497-84. Методы испытания на растяжение. – Москва : Стандарт, 1984. – 85 с.
4. ГОСТ 25.503-80. Метод испытания на сжатие. – Москва : Стандарт, 1981. – 95 с.
5. ГОСТ 3565-80. Метод испытания на кручение. – Москва : Стандарт, 1980. – 14 с.
6. Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженной, комнатной и повышенной температурах. – Москва : Стандарт, 1978. – 12 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Инструкция по технике безопасности при работе в лаборатории механических испытаний.....	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. Испытание металлов на растяжение.....	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. Испытание металлов на сжатие.....	17
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. Испытание стального образца на кручение.....	24
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. Определение ударной вязкости металлов.....	31
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5. Испытание металлических образцов на срез.....	36
Заключение.....	40
Библиографический список.....	41

ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ № 1–5
для студентов специальности
12.02.10 «Монтаж, техническое обслуживание
и ремонт биотехнических и медицинских аппаратов и систем»

Составитель:
Извеков Игорь Иванович

Издается в авторской редакции

Подписано к изданию 16.11.2023.
Уч.- изд. л. 1,2.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84