

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»
Строительно-политехнический колледж

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА

к выполнению лабораторных работ № 1 - 4
для студентов специальностей 12.02.10 Монтаж,
техническое обслуживание и ремонт биотехнических и
медицинских аппаратов и систем,
12.02.06 Биотехнические и медицинские аппараты и
системы

Методические указания обсуждены на заседании методического совета
СПК

«18» 02. 2022 года Протокол № 6

Председатель методического совета СПК  Сергеева С. И.

Методические указания одобрены на заседании педагогического совета
СПК

«25» 02. 2022 года Протокол № 6

Председатель педагогического совета СПК  Дегтев Д.Н.

Составители: преп. И.И. Извеков, преп. В.Н. Елизаров

УДК – 531 (07)

ББК 22.2я7

Методические указания к выполнению лабораторных работ № 1, 2, 3, 4, по предмету «Прикладная механика» для студентов специальностей 12.02.10 «Монтаж, техническое обслуживание и ремонт биотехнических и медицинских аппаратов и систем», 12.02.06 «Биотехнические и медицинские аппараты и системы» / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. И.И. Извеков, преп. В.Н. Елизаров. Воронеж, 2022. 52 с.

В методических указаниях содержатся краткие теоретические сведения по основам прикладной механики, описываются принципы работы лабораторного оборудования, использование измерительных инструментов и приборов, описана методика проведения испытаний по определению механических характеристик материалов.

Методические указания подготовлены в электронном виде.

Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный технический университет», 2022

УДК 531(07)

ББК 22.2я7

*Составители: преп. В. М. Елизаров,
преп. И. И. Извеков*

Прикладная механика: методические указания к выполнению лабораторных работ № 1–4 для студентов специальностей 12.02.10 «Монтаж, техническое обслуживание и ремонт биотехнических и медицинских аппаратов и систем»,

12.02.06 «Биотехнические и медицинские аппараты и системы» / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет; сост.: В. М. Елизаров, И. И. Извеков. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2020. 52 с.

В методических указаниях описана методика проведения испытаний по определению механических характеристик материалов, а так же рассмотрен метод электротензометрирования, который широко применяется в технике для определения напряженно-деформированного состояния деталей машин.

Предназначены для студентов специальностей 12.02.10 «Монтаж, техническое обслуживание и ремонт биотехнических и медицинских аппаратов и систем», 12.02.06 «Биотехнические и медицинские аппараты и системы»

Ил.20 . Табл. 5 . Библиогр.: 6 назв.

УДК 531(07)

ББК 22.2я7

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

*Издаётся 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 машин. Получить эту информацию возможно только из данных эксперимента. В методических указаниях рассмотрены соответствующие методики по определению механических характеристик материалов, а так же рассмотрен метод электротензометрирования, который широко применяется в технике для определения напряженно-деформированного состояния деталей машин.

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.

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	18
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. Испытание стального образца на кручение	27
Основы метода электротензометрирования	35
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. определение теоретического коэффициента концентрации напряжений в полосе с отверстием	40
Заключение	48
Библиографический список	49

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; облокачиваться 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 испытуемой стали.

2. Построить условную диаграмму растяжения для испытуемой стали.

3. Определить величину допускаемого напряжения для испытуемой 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 испытуемого материала [1].

Результаты испытаний на растяжение зависят не только от свойств материала, но и от формы и размеров испытуемых 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

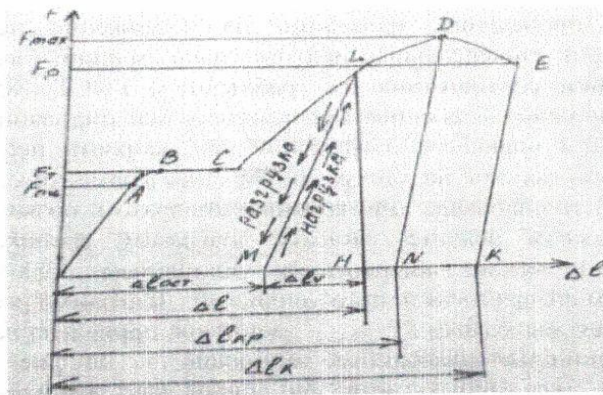


Рис. 1.5

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

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

определяют по усилию $F_{пл}$ (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 (BC):

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

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 ОА диаграммы. Отрезок MN представляет упругое удлинение образца $\Delta l_{уп}$, 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 ОА, что свидетельствует о повышении упругих свойств материала при его пластическом деформировании. Это явление называют деформационным упрочнением, или наклепом, 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

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.

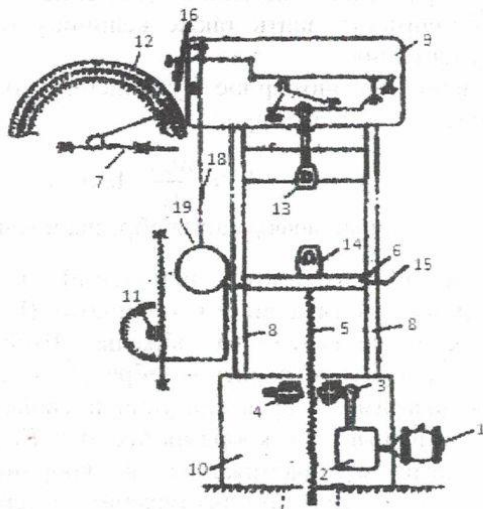


Рис. 1.6

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.

Силовое измерительное устройство

Верхний захват связан с рычагами, размещенными 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_{np} , Н	
Нагрузка на пределе текучести F_T , Н	
Нагрузка при разрыве F_p , Н	
Абсолютное равномерное удлинение Δl_{kp} , мм	
Предел пропорциональности σ_{np} , МПа	
Предел текучести σ_T , МПа	
Предел прочности σ_n , 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 $\mu_{\Delta l} = (l_k - l_0)/S_{\Delta lk}$, где S_{Fmax} — длина отрезка диаграммы, соответствующая максимальному усилию (см. рис. 1.7), а $S_{\Delta lk}$ — длина участка диаграммы, соответствующая абсолютному остаточному удлинению образца при разрыве.

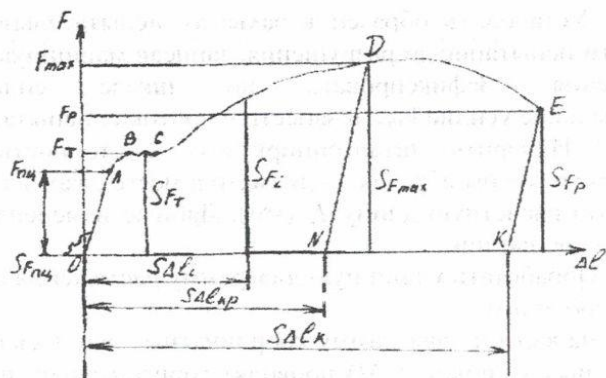


Рис. 1.7

5. По формулам (1.1)-(1.4) рассчитать характеристики прочности испытанного материала: $\sigma_{mц}$; 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 $\epsilon_i = \Delta l_i/l_0$. 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 « $F - \Delta l$ »

5. Таблица результатов обработки машинной диаграммы растяжения (табл. 1.2).

6. Условная диаграмма растяжения материала образца.

7. Рассчитанная величина допускаемого напряжения для испытуемого 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, особенно 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 ϵ . 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.

Логарифмическую деформацию определяют по соотношению

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

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.

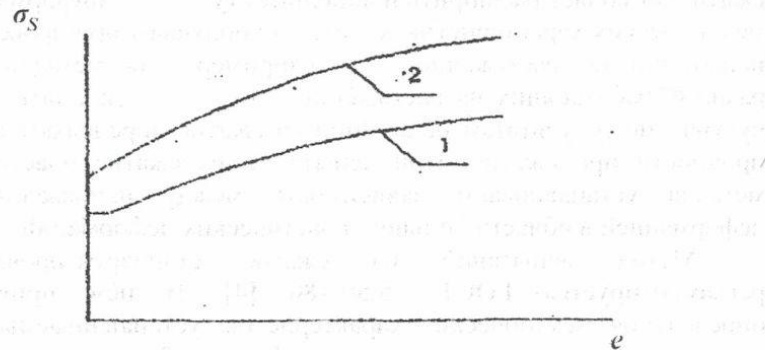


Рис. 2.1

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).

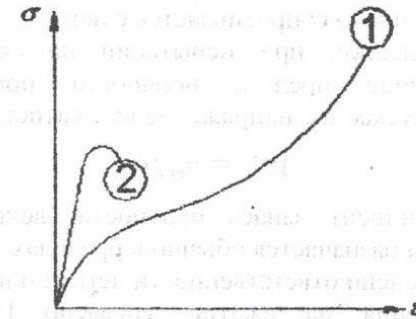


Рис. 2.2

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 $\sigma_{вс}$, под которым понимают напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке F_{max} , предшествующей разрушению:

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

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 $\sigma_{вс}$ рассчитывают допускаемое напряжение на сжатие:

$$[\sigma]_c = \sigma_{вс} / n, \quad (2.6)$$

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.

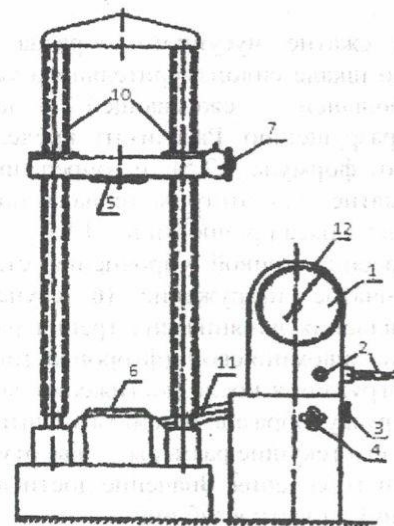


Рис. 2.3

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 таблицу.

Таблица

Нагрузка F , кН	Размеры образца		Площадь сечения A , мм ²	Истинное напряжение σ_5 , МПа	Логарифмическая 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 чугунного 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 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, 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).

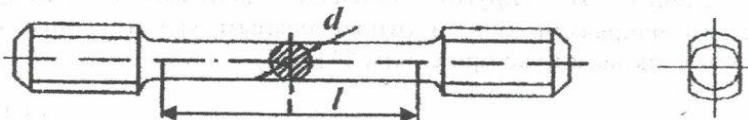


Рис. 3.1

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

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

Этот закон устанавливает линейную зависимость между крутящим моментом M_k и 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 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):

$$G = \frac{M_k \cdot l}{\varphi \cdot I_p}. \quad (3.6)$$

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

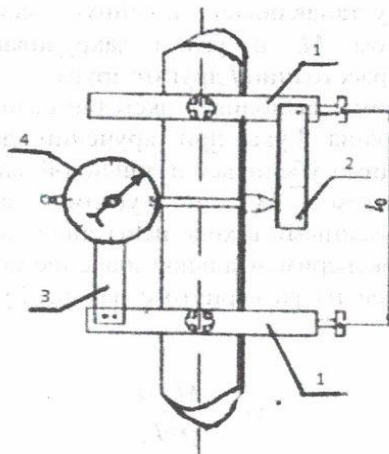


Рис. 3.2

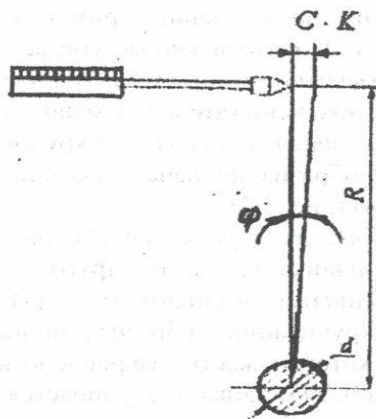


Рис. 3.3

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.

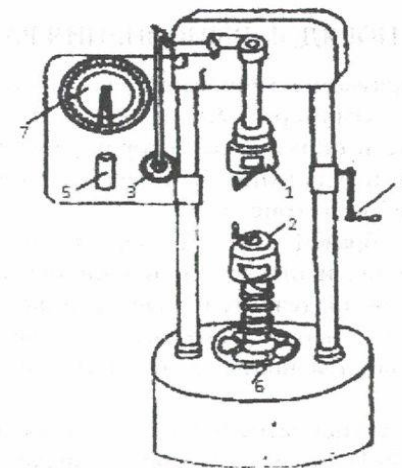


Рис. 3.4

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 центровых 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, атом 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 накопечника индикатора от оси образца (рис. 3.3).

2. Закрепить образец с установленным на нем угломером Бояршинова в захватах испытательной машины на кручение КМ-0. 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 таблицу.

Таблица

М, Нм	К (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 , по формуле (3.6), записанной в приращениях:

$$G_s = \frac{\Delta M_k l_0}{\Delta \varphi_{cp} l \rho}, \quad (3.9)$$

где ΔM_k — приращение крутящего момента на одну ступень нагружения; l_0 — база угломера (рис. 3.2); $\Delta \varphi_{cp}$ — среднearифметическое 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:

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

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 другими 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 М-50.
9. Каков порядок проведения испытаний на кручение?
10. С какой целью производят нагружение образца ступенями?
11. Как экспериментально определяется угол закручивания?
12. Как экспериментально определяют модуль сдвига материала?
13. В чем состоит обработка экспериментальных данных?
14. Как экспериментально проверяется закон Гука при кручении?

ОСНОВЫ МЕТОДА ЭЛЕКТРОТЕНЗОМЕТРИРОВАНИЯ

Теоретические сведения

При исследовании напряженно-деформированного состояния деталей и конструкций широкое применение находит метод электротензометрирования, основанный на применении проволочных датчиков электросопротивления, так называемых тензорезисторов (тензодатчиков).

Проволочный датчик представляет собой наклеенную на полосу бумаги тонкую проволоку из материала с высоким омическим сопротивлением (манганин, константан, нихром и т.п.) диаметром $0,015 \div 0,03$ мм, уложенную несколькими параллельными петлями и называемую решеткой тензорезистора (рис. 1). К концам проволоки сваркой или пайкой присоединяются более толстые выводные проводники, с помощью которых датчик подключают к регистрирующему прибору. Тензорезистор наклеивается на поверхность исследуемой детали так, чтобы размер базы совпадал с направлением, в котором желательнее всего измерить деформацию. Обычно применяют датчики с базой 5, 10 или 20 мм. При плотной приклейке проволока деформируется вместе с поверхностью исследуемого объекта, ее омическое сопротивление изменяется и регистрируется как показатель деформации.

Опыт показывает, что относительное изменение омического сопротивления проволоки ДКУ пропорционально ее деформации ϵ , т.е.

$$\Delta R/R = \gamma_0 \epsilon, \quad (1)$$

где γ_0 — коэффициент тензочувствительности — безразмерная величина, зависящая от физических свойств материала. Для материалов, применяемых в датчиках сопротивления, величина γ_0 колеблется в пределах 2-3,5. Например, для константана $\gamma_0 = 2,0-2,1$, для нихрома 2,1-2,3 и т.д. Основными параметрами тензорезистора являются база l , сопротивление R и коэффициент тензочувствительности.



Рис. 1

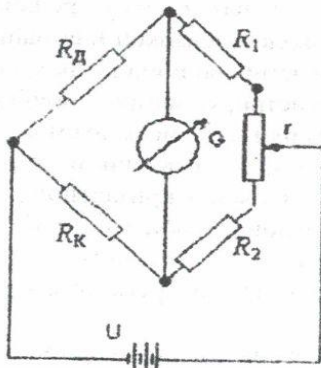


Рис. 2

Датчики описанного типа применяются при температурах t - 40°C до $+70^{\circ}\text{C}$.

Практически изменение сопротивления R очень мало и для его измерения применяют достаточно чувствительные приборы. При статических испытаниях датчик, наклеенный на поверхность исследуемой детали, включается в измерительный прибор по мостовой схеме (рис. 2). Сопротивление рабочего датчика R_D является одним плечом моста.

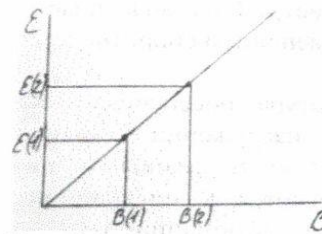


Рис. 3

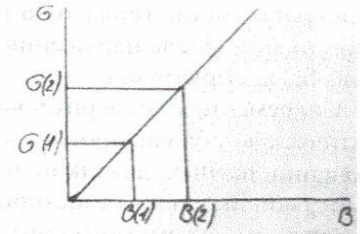


Рис. 4

Основная погрешность в показаниях тензорезисторов возникает за счет изменения температуры самого датчика при пропускании через него тока, а также вследствие изменения температуры исследуемой детали при ее деформировании. В результате изменения температуры сопротивление датчика меняется весьма заметно. Так, например, для константанового датчика, наклеенного на поверхность стальной детали, при изменении температуры на один градус омическое сопротивление меняется так же, как и при изменении напряжений в стальном образце на $0,7 \text{ МПа}$. Для уменьшения температурной погрешности в мостовую схему (рис. 2) включают компенсационный датчик R_K . Компенсационный датчик наклеивается на отдельную, пластинку из того же материала, что и исследуемая деталь, и находится в тех же температурных условиях, что и рабочий датчик. Тогда одинаковым будет и температурное изменение сопротивлений R_D и R_K . Два оставшихся плеча моста представляют собой равные сопротивления R_1 и R_2 (рис. 2), которые вмонтированы в измерительный прибор. Напряжение U источника постоянного тока не должно превышать $4-6 \text{ В}$, чтобы не вызвать значительного нагрева датчика.

Если исследуется напряженное состояние сложной конструкции и применяется большое количество рабочих датчиков, то при снятии их показаний компенсационный датчик является общим для всех рабочих датчиков, а сопротивления R_D включаются в схему моста поочередно. Чтобы избежать погрешностей из-за изменения напряжения питания U , с помощью переменного сопротивления r (рис. 2) перед каждым отсчетом проводится

балансировка моста (сила тока в гальванометре G устанавливается равной нулю). После нарушения детали изменением сопротивления снова балансируют мост.

Современная измерительная аппаратура обеспечивает автоматическую балансировку моста при нагружении детали и включении разных датчиков и фиксирует их показания. С этой целью рабочие тензорезисторы подключаются к тензостанции, состоящей из автоматического измерителя деформаций АИД-4 и автоматического 100-позиционного переключателя АП-3.

Электронный измеритель деформации АИД-4 предназначен для измерения с помощью тензорезисторов статических или медленно меняющихся деформаций (механических напряжений) в элементах строительных конструкций и деталях машин. Его можно использовать также для измерения усилий, давлений, перемещений, прогибов и других механических параметров, которые преобразуются в электрический сигнал, с помощью тензорезисторов, укрепленных на специальных упругих элементах.

При изменении вследствие деформации сопротивления рабочего тензорезистора в измерительной диагонали моста появляется напряжение ΔU , которое усиливается электронным усилителем до величины, достаточной для приведения в действие реверсивного двигателя. Ротор двигателя, в зависимости от фазы U , вращается в ту или другую сторону, поворачивая синхронически связанный с ним токосъемник реохорда до положения, при котором уравнивается изменение сопротивления тензорезистора. С токосъемником реохорда через зубчатую передачу связаны указательные стрелки.

Для измерения деформаций в большом числе точек детали прибор используется в комплексе со специальным коммутирующим устройством АП-3.

Автоматический 100-позиционный переключатель АП-3 предназначен для коммутации внешних полумостов, составленных из тензорезисторов и их поочередного соединения с электронным измерителем деформаций. Питание электромагнитов переключателя осуществляется кратковременным нажатием кнопки «КН» на переключателе. В случае необходимости возврата

переключателя назад кнопку «КН»-держат в нажатом состоянии и за ручку переключателя вращением по часовой стрелке устанавливают переключатель в необходимое положение. Для проведения измерений необходимо:

- включить питание тензостанции;
- при отключенном моторе балансировки моста (на передней панели) нажать кнопку «КН» переключателя АП-3 и, не отпуская ее, установить поворотом ручки номер нужного тензорезистора;
- включить мотор балансировки моста и по циферблату снять показание датчика.

По установленным в ходе эксперимента показаниям тензодатчиков проводится расшифровка напряженного состояния исследуемой детали по следующей методике.

Если показания тензорезистора при нагружении испытываемого образца обозначить B , то соотношение (1) можно представить в виде

$$\varepsilon = K_{\varepsilon} B, \quad (2)$$

где K_{ε} — тарировочный коэффициент, определяемый тарированием датчиков.

Учитывая закон Гука для линейного напряженного состояния, формулу (2) приведем к виду

$$\sigma = E\varepsilon = K_{\varepsilon} E B = K_{\sigma} B, \quad (3)$$

где σ — напряжение; E — модуль Юнга.

Тарировочные коэффициенты K_{σ} , K_{ε} определяют по результатам статических испытаний на растяжение или чистый изгиб. При этом рассчитывают значения напряжений σ или деформации ε и фиксируют показания B тензорезистора, наклеенного на испытуемый образец.

По результатам испытания строят тарировочный график в координатах $(\varepsilon-B)$ (рис. 3) или $(\sigma-B)$ (рис. 4). По двум произвольным точкам 1, 2 на соответствующем графике можно определить тарировочный коэффициент K_{ε} по деформациям или K_{σ} по напряжениям

$$K_\varepsilon = \frac{\varepsilon_{(2)} - \varepsilon_{(1)}}{B_{(2)} - B_{(1)}}; \quad K_\sigma = \frac{\sigma_{(2)} - \sigma_{(1)}}{B_{(2)} - B_{(1)}}. \quad (4)$$

При исследовании линейного напряженного состояния тензорезисторы ориентируют по направлению действующего напряжения. Используя показания датчиков, напряжение определяют по одному из соотношений (3).

Если исследуется двухосное напряженное состояние при известных главных направлениях, то в окрестности каждой точки наклеивают два датчика, ориентированные вдоль главных направлений. Используя закон Гука для плоского напряженного состояния, с учетом соотношений (2), (3) получим формулы для определения главных напряжений [1]:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{K_\varepsilon E}{1 - \mu^2} (B_1 + \mu B_2) = \frac{K_\sigma}{1 - \mu^2} (B_1 + \mu B_2) \\ \sigma_2 &= \frac{K_\varepsilon E}{1 - \mu^2} (B_2 + \mu B_1) = \frac{K_\sigma}{1 - \mu^2} (B_2 + \mu B_1) \end{aligned} \right\}$$

где μ — коэффициент Пуассона; B_1 и B_2 — показания датчиков, ориентированных соответственно в первом и во втором главных направлениях.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОЛОСЕ С ОТВЕРСТИЕМ

4.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Установить экспериментально методом электротензорезирования распределение напряжений в полосе в сечении, ослабленном круглым отверстием, и определить величину коэффициента концентрации напряжений.

4.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Одним из основных факторов, снижающих прочность элементов конструкций, является концентрация напряжений. Теоретические и экспериментальные исследования показывают, что в области резких изменений формы упругого тела (надрезы, углы, отверстия, выточки) возникают повышенные напряжения. Например, при растяжении полосы с небольшим круглым отверстием (рис. 4.1) закон равномерного распределения напряжений вблизи отверстия нарушается: Напряженное состояние становится двухосным, а у края отверстия появляется пик осевого напряжения σ_y . Увеличение напряжений в местах резкого изменения геометрии элемента конструкции называют концентрацией напряжений, а само отверстие (надрез, выточку и т.п.) — концентратором напряжений. Зона распределения повышенных напряжений ограничена узкой областью и в связи с локальным характером распространения эти напряжения называют местными. Последние в зависимости от геометрической формы детали определяют обычно методами теории упругости или экспериментально.

Основным показателем местных напряжений является теоретический коэффициент концентрации напряжений, определяемый по формуле [1]:

$$\alpha = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_n}, \quad (4.1)$$

где σ_{max} — наибольшее местное напряжение; σ_n — номинальное напряжение, которое определяется по формулам сопротивления материалов без учета эффекта концентрации. Величину σ_{max} определяют аналитически (методами теории упругости) или экспериментально. Следует отметить, что в формуле (4.1) под σ понимают одну из компонент напряженного состояния, наиболее существенно влияющую на усталостную прочность детали.

4.3. ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ МАШИНА И ПРИБОРЫ

Испытания проводятся на универсальной машине УМ-5. При выполнении работы используется тензостанция ЛИД-4.

4.4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получить от лаборанта образец (полосу с наклеенными тчками). Штангенциркулем с точностью $\pm 0,1$ мм измерить змеры полосы b , t , d и координаты центров рабочих тензодатчиков $\chi_1, \chi_2, \chi_3, \chi_4$ (рис. 4.1).

2. Установить образец в захваты испытательной машины М-5 и включить тензостанцию АИД — 4.

3. Нагрузить образец предварительно силой F и при этой грузке снять показания B тензодатчиков. Затем нагружение юизводить ступенчато с шагом ΔF . Значения F и ΔF задаются еподавателем. Данные показаний нагрузки F и тензодатчиков. з каждой ступени нагружения занести в таблицу, в которой иняты следующие обозначения: ΔB — приращения показания нзодатчиков на данной ступени нагружения.

Таблица

Номер ступени	F, кН	1		2		3		4		5				
		B	ΔB	σ_y , МПа	B	ΔB	σ_y , МПа	B	ΔB	σ_y , МПа	B	ΔB	σ_y , МПа	
1														
2														
3														
4														

4. По показаниям пятого тензодатчика определить тарировочный коэффициент по формуле:

$$K_\sigma = \frac{\Delta F}{b \cdot t \cdot \Delta B_{5cp}}, \quad (4.6)$$

где ΔF — приращение нагрузки на одну ступень нагружения; ΔB_{5cp} — среднее приращение показаний пятого (тарировочного) тензодатчика.

5. Рассчитать напряжения в точках 1, 2, 3, 4 сечения Б-Б, соответствующих расположению рабочих тензодатчиков, по соотношению

$$\sigma_{yi} \approx K_\sigma \cdot \Delta B_i, \quad (4.7)$$

где $i = 1, 2, 3, 4$ - номер рабочего тензодатчика. Результат вычислений записать в таблицу.

6. Для каждого этапа нагружения по четырем значениям напряжений построить эпюры осевых напряжений в ослабленном сечении полосы в координатах ($\sigma_y - x$), приняв при этом соответствующие масштабы по осям x и σ_y . На рис. 4.1 схематично показана одна из таких эпюр. Величину σ_{ymax} нужно определить графически экстраполяцией (продолжением) экспериментальной кривой $\sigma_y = f(x)$ до пересечения с осью напряжений σ_y , проведенной по касательной к контуру отверстия.

7. По формуле (4.5) рассчитать значения коэффициентов концентрации напряжений, соответствующих нагрузкам F . Так как теоретический коэффициент концентрации напряжений α при упругом деформировании не зависит от величины нагрузки, то его усредненное значение можно определить по формуле:

$$\alpha_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_i, \quad (4.8)$$

где α_i — коэффициент концентрации напряжений для нагрузки F_i .

8. Для оценки правильности определения напряжений в сечении Б-Б определить для каждой ступени нагружения расчетное растягивающее усилие F_p по соотношению

$$F_{cp} = 2l \int_0^{b-d} \sigma_y dx . \quad (4.9)$$

Интеграл в выражении (4.9) может быть определен численно, как площадь под соответствующей кривой $\sigma_y = f(x)$, или рассчитан на ПЭВМ.

9. Определить отклонение расчетного растягивающего усилия F_p от фактического растягивающего усилия F по формуле:

$$\Delta = \frac{|F_p - F|}{F} \cdot 100\% . \quad (4.10)$$

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Основные формулы и соотношения.
2. Схема расположения тензодатчиков на полосе с отверстием.
3. Заполненная таблица экспериментальных данных.
4. Построенные эпюры осевых напряжений (σ_y) в ослабленном сечении полосы для каждой ступени нагружения.
5. Вычисленное среднее значение коэффициента концентрации напряжения в полосе с отверстием.
6. Рассчитанные значения, растягивающих усилий для каждой ступени нагружения и их сравнение с фактическими значениями нагрузок.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. На чем основан метод электротензометрирования?
2. Каковы основные параметры тензорезистора?
3. Каково назначение компенсационного тензодатчика?
4. По результатам каких испытаний проводится тарирование тензодатчиков?
5. Что такое концентрация напряжений?

6. На что влияет концентрация напряжений?
7. Как количественно оценивается концентрация напряжений?
8. Как рассчитывается теоретический коэффициент концентрации напряжений?
9. Как определяется номинальное осевое напряжение?
10. Как устанавливается максимальное осевое напряжение, возникающее на контуре отверстия?
11. Как определяется тарировочный коэффициент?
12. Какова последовательность экспериментального определения коэффициента концентрации напряжений, в полосе с отверстием?
13. Для чего и как определяется расчетное значение растягивающего усилия?

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 пользовании измерительными инструментами и приборами, в выполнении эскизов и схем с реальными объектами исследования, развивают умение пользоваться ГОСТами, нормами и другим справочным материалом.

Лабораторные работы позволяют студентам получить практические навыки, необходимые для проектирования, изготовления и эксплуатации деталей машин и механизмов.

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.....	18
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. Испытание стального образца на кручение.....	27
Основы метода электротензометрирования	35
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. определение теоретического коэффициента концентрации напряжений в полосе с отверстием	40
Заключение	48
Библиографический список	49