Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины
Государственное высшее учебное заведение
«Национальный горный университет»

Методические указания

к лабораторной работе

№ 1.17

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ СТАЛИ ИЗ РАСТЯЖЕНИЯ ПРОВОЛОКИ

г. Днепропетровск
2011

Методические указания к лабораторной работе № 1.17 “ Определение модуля упругости стали из растяжения проволоки” по разделу “ *Механика и молекулярная физика* ” общего курса физики для студентов всех специальностей.

Сост.: Л.А. Коваленко, М.А. Журавлёв, Л.Ф. Мостипан.

Днепропетровск: ГВУЗ «НГУ», 2011 г.

Лабораторная работа № 1.17
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ СТАЛИ ИЗ РАСТЯЖЕНИЯ ПРОВОЛОКИ

Цель работы: Изучить основные характеристики упругих свойств материалов и определить модуль упругости проволоки.

Краткая теория.

Изменение формы и объема твердого тела под действием внешних сил называют ***деформацией***. Деформацию считают ***упругой***, если после прекращения действия внешней силы тело полностью восстанавливает свою форму и объем. Если же форма и объем тела не восстанавливаются, то деформацию называют ***пластической*** или ***остаточной.***

К основным видам деформации относят: деформацию растяжения, сжатия, изгиба, сдвига, кручения.

В данной работе рассматривается упругая деформация стальной проволоки длиной l_0 под действием внешней силы **F**, направленной вдоль оси проволоки. При упругой деформации в твердом теле возникает внутренняя сила (сила упругости $\mathbf{F}_{\text{упр}}$), электрическая по своей природе. Сила упругости $\mathbf{F}_{\text{упр}}$ направлена противоположно направлению внешней силы **F** и равна ей по модулю в тот момент, когда растяжение проволоки прекратится.

При растяжении длина проволоки увеличится на

$$\Delta l = l - l_0, \tag{1}$$

где l_0 – начальная длина проволоки,

l – конечная длина проволоки.

Величину Δl называют ***абсолютным удлинением***.

Величину
$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \tag{2}$$

называют ***относительным удлинением***.

Механическим напряжением σ называют величину, численно равную силе упругости, действующей на единицу площади сечения тела:

$$\sigma = \frac{F_{\text{óïð}}}{S}\,. \tag{3}$$

При небольших упругих деформациях справедлив ***закон Гука***, согласно которому ***механическое напряжение прямо пропорционально относительной деформации***:

$$\sigma = E\varepsilon\,, \tag{4}$$

где E – ***модуль упругости*** или ***модуль Юнга***, который характеризует упругие свойства тела.

Чтобы понять физический смысл этой величины, сделаем некоторые преобразования. С учетом формул (2) и (3) из (4) получим

$$\frac{F_{упр}}{S} = E\frac{\Delta l}{l_0}, \tag{5}$$

откуда

$$E = \frac{F_{упр} \cdot l_0}{S \cdot \Delta l}, \tag{6}$$

При $\Delta l = l_0$,

$$E = \frac{F_{упр}}{S} = \sigma. \tag{7}$$

Следовательно, ***модуль Юнга численно равен механическому напряжению, при котором относительное удлинение ε = 1, а значит, линейные размеры тела увеличиваются в два раза***.

Если внешние силы значительны, то при их исчезновении обнаруживается остаточная деформация, а при $\Delta l = l_0$ практически все тела разрушаются.

Зависимость механического напряжения от относительной деформации показана на рисунке 1. При относительно небольших значениях механического напряжения деформация имеет абсолютно упругий характер, что выражается на графике прямо пропорциональной зависимостью (участок *OA*). В этом случае выполняется закон Гука. Предельное значение напряжения, при котором еще выполняется линейная зависимость σ от ε, называют ***пределом пропорциональности*** – $\sigma_п$.

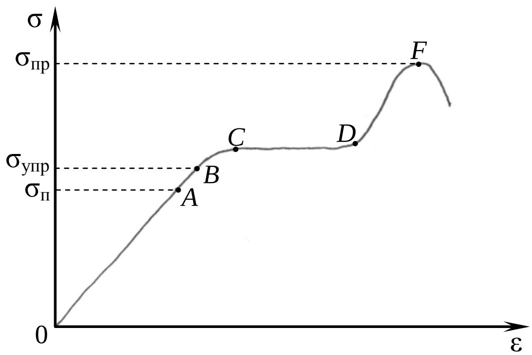


Рис. 1.

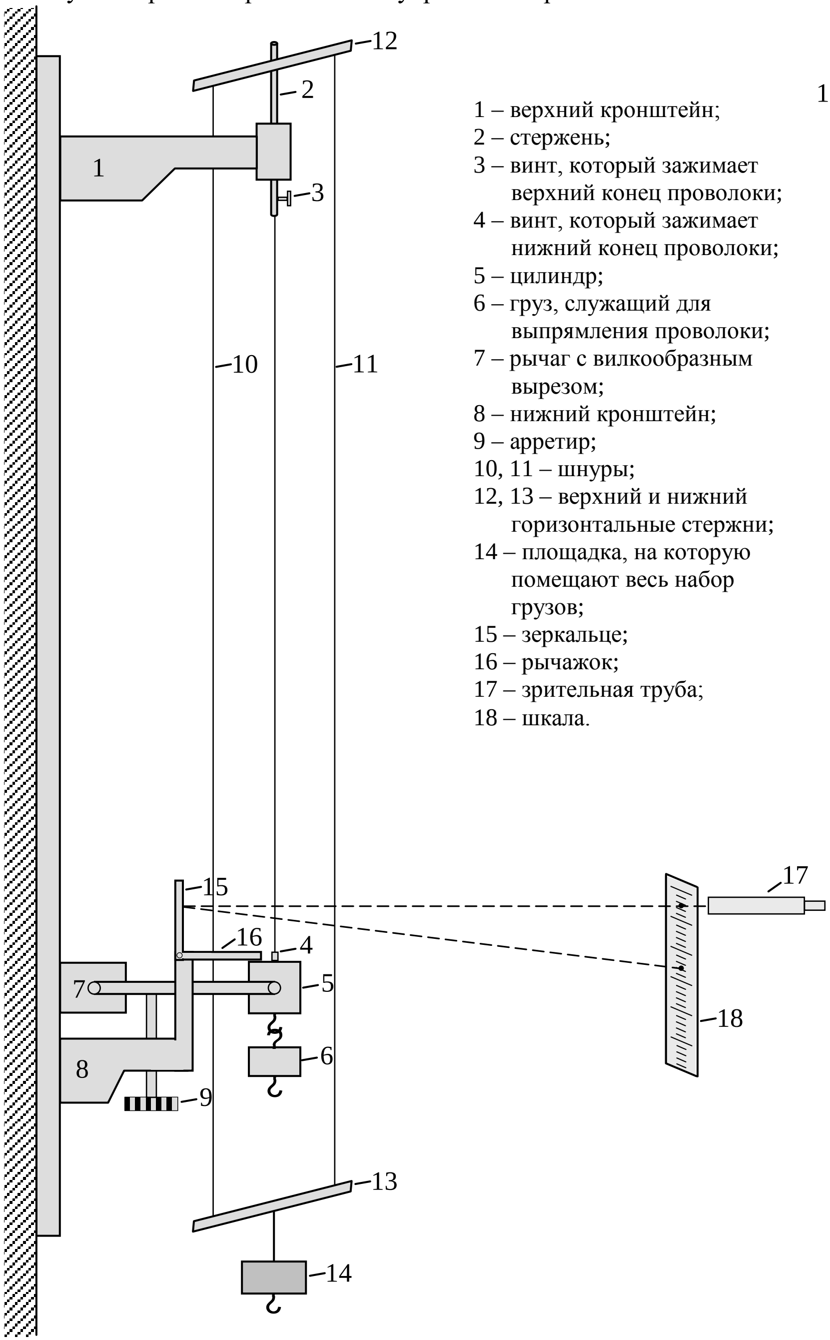
Деформация может еще сохранять упругий характер при напряжениях, мало превосходящих $\sigma_п$. Предельное значение напряжения, при котором очень мала остаточная деформация, называют ***пределом упругости*** $\sigma_{упр}$ (Участок *AB*). Участок *AB* графика невелик, поэтому обычно в инженерных расчетах считают, что $\sigma_{упр} = \sigma_п$.

Дальнейшее увеличение механического напряжения приводит к *пластической* деформации (участок *BF*), и при значении механического напряжения $\sigma_{пр}$ (*предел прочности*) происходит разрушение образца.

Методика измерений и оборудование.

Для определения модуля упругости используют прибор Лермантова (рис. 2).

Во втулке верхнего кронштейна *1* укреплен стержень *2*.



1

1 – верхний кронштейн;
2 – стержень;
3 – винт, который зажимает верхний конец проволоки;
4 – винт, который зажимает нижний конец проволоки;
5 – цилиндр;
6 – груз, служащий для выпрямления проволоки;
7 – рычаг с вилкообразным вырезом;
8 – нижний кронштейн;
9 – арретир;
10, 11 – шнуры;
12, 13 – верхний и нижний горизонтальные стержни;
14 – площадка, на которую помещают весь набор грузов;
15 – зеркальце;
16 – рычажок;
17 – зрительная труба;
18 – шкала.

Рис. 2.

Верхний конец испытуемой проволоки зажат винтом *3* в отверстии стержня *2*. Нижний конец проволоки винтом *4* укреплен в отверстии цилиндра *5*. К цилиндру *5* на крючке подвешен груз *6*, служащий для выпрямления проволоки.

Цилиндр *5* может вращаться на остриях вокруг оси OO' (перпендикулярной чертежу) в вилкообразном вырезе рычага *7*.

Нижний кронштейн *8* снабжен арретиром *9*. Прибор должен быть арретирован в моменты нагружения проволоки грузами, а также тогда, когда проволоку освобождают от нагрузки, не снимая грузов. Арретированный пробор предохраняет проволоку от толчков при накладывании грузов, а также от возможного вырывания проволоки из мест закрепления.

Если к грузу *6* добавить груз массой m_1, то он вызовет не только удлинение проволоки, но и прогиб кронштейна *1*. Нам же необходимо измерить только удлинение проволоки. Для исключения влияния прогиба кронштейна прибор снабжен двумя шнурами *10* и *11*, сочлененными с верхним и нижним горизонтальными стержнями *12, 13*. Нижний стержень *13* снабжен площадкой *14*, на которую помещается весь набор грузов, служащий для нагружения проволоки. Груз *6* с крючком называют площадкой *6*, на которую поочередно подвешивают грузы массой m_1, m_2, m_3, m_4, m_5. В ходе опыта набор грузов может лежать либо на площадке *6*, либо на площадке *14*, что создает одинаковую величину прогиба.

В пределах упругости (участок AB на рис. 1) удлинения проволоки Δl достаточно малы. Измерить эти удлинения можно только специальными методами. Одним из них является оптический метод.

В верхней части кронштейна *8* свободно вращается около горизонтальной оси OO', перпендикулярной плоскости чертежа, зеркальце *15*. С зеркальцем скреплен изогнутый рычажок *16*, опирающийся на площадку цилиндра *5*. Вследствие такого расположения рычажка *16* он следует за всеми вертикальными перемещениями, возникающими при изменении нагрузки проволоки.

Перед зеркальцем *15* установлена зрительная труба *18* и шкала *19*, обращенная делениями к зеркальцу (рис. 3).

Пусть под действием груза *6* зеркальце размещено вертикально, тогда в зрительной трубе будет видно деление N_0 шкалы (против горизонтальной нити окуляра). Ход луча в этом случае направлен по прямым N_0C' и $C'N_0$ лежащим в горизонтальной плоскости.

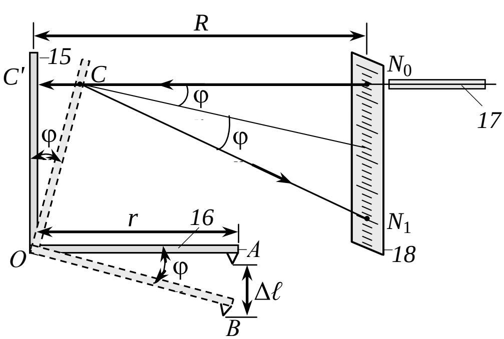


Рис. 3.

Если на площадку *6* с площадки *14* перенести груз

m_1, то проволока удлинится на Δl, рычаг и зеркальце повернутся на угол φ, световой луч – на угол 2φ. В зрительную трубу будет видно деление N_1 шкалы. Ход луча в этом случае направлен по прямым N_0C и CN_1, лежащим в горизонтальной плоскости.

Из треугольника *AOB* (рис. 3):

$$\Delta l = r \cdot tg\varphi, \tag{8}$$

где r – радиус рычажка зеркальца (величина его указана на приборе).

Из треугольника CN_0N_1 следует, что

$$|N_1 - N_0| = R \cdot tg2\varphi, \tag{9}$$

где R – расстояние между зеркальцем и шкалой.

В пределах упругости удлинение Δl достаточно мало. Поэтому и угол φ очень мал. Тогда (8) и (9) перепишем так:

$$\Delta l = r\varphi, \tag{10}$$

$$|N_1 - N_0| = R2\varphi. \tag{11}$$

Совместное решение (10) и (11) дает:

$$\Delta l = \frac{r|N_1 - N_0|}{2R}. \tag{12}$$

Подставляя (12) в исходную формулу для модуля упругости (6), одновременно выражая площадь поперечного сечения проволоки через диаметр $S = \frac{\pi d^2}{4}$, получим выражение для *модуля Юнга*:

$$E = \frac{8 \cdot l_0 Rmg}{\pi d^2 r |N_1 - N_0|}, \tag{13}$$

где d – диаметр проволоки;

m – масса груза на подвесе 6.

Формула (13) является расчетной для определения модуля упругости при растяжении проволоки на приборе Лермантова.

Порядок выполнения работы

1. На подготовленном к работе приборе помещают все грузы на площадку *14*. Отпустив арретир, отсчитывают деление шкалы N_0 (с точностью до 1 мм), совпадающее с горизонтальной нитью окуляра. Результат отсчета записывают в таблицу.

2. Перемещают груз m_1 с площадки *14* на площадку *6*. Записывают отсчет N_1.

3. Возвращают груз m_1 на площадку *14*, а груз m_2 перемещают на площадку *6* и записывают отсчет по шкале N_1, затем то же самое проделывают с грузами m_3, m_4 и m_5. Результаты измерений занести в таблицу.

4. По окончании опыта все грузы должны находиться на площадке *14*.

5. По формуле (13) определяют модуль Юнга, вычисляют случайную погрешность и результаты заносят в таблицу. Радиус и длина проволоки указаны на приборе.

№ п/п	d, м	l_0, м	m, кг	N_0, м	N_1, м	E_i, Па	$<E>$, Па	ΔE_i, Па	ΔE_i^2, Па^2	$S_{<E>}$, Па	α	$t_{\alpha,n}$	ΔE, Па	E, %
1.														
2.														
3.														
4.														

Окончательный результат записать в виде:

$$E = (< E > \pm \Delta E) \text{ Па, при } \alpha =$$

Контрольные вопросы

1. Какие виды деформации вы знаете?
2. Что такое абсолютное и относительное удлинение?
3. Что называют механическим напряжением?
4. Сформулируйте закон Гука.
5. Каков физический смысл модуля Юнга? Докажите.
6. При каких условиях справедлив закон Гука?
7. Каким методом измеряется удлинение проволоки в приборе Лермантова?