

Лабораторная работа № 1.17

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ЮНГА СТАЛИ ИЗ РАСТЯЖЕНИЯ ПРОВОЛОКИ

Приборы: 1) прибор Лермантова; 2) микрометр; 3) большая измерительная линейка; 4) набор грузов.

Цель работы: определить модуль упругости стальной проволоки.

Теоретическое введение

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: растяжение, сжатие, изгиб, сдвиг, кручение.

В данной работе рассматривается упругая деформация растяжения 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 $F_{\text{упр}}$), электрическая по своей природе. Сила упругости $F_{\text{упр}}$ направлена противоположно направлению внешней силы F и равна ей по модулю в тот момент, когда растяжение проволоки прекратится.

При растяжении длина проволоки (или стержня, см. рис 1) увеличится на

$$\Delta l = l - l_0, \quad (1)$$

где l_0 – начальная, l – конечная длина проволоки.

Величину Δl называют **абсолютным удлинением**, а отношение

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2)$$

– **относительным удлинением**.

Механическим напряжением σ называют величину, численно равную модулю силы упругости, действующей на единицу площади S поперечного сечения стержня

$$\sigma = \frac{F_{\text{упр}}}{S}. \quad (3)$$

Напряжение называют **нормальным**, если сила $F_{\text{упр}}$ направлена перпендикулярно к поверхности S .

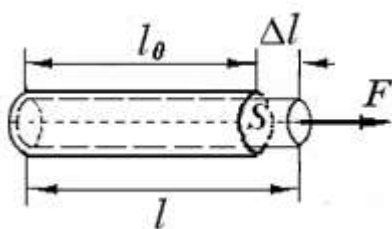


Рис.1.

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

$$\sigma = \varepsilon E, \quad (4)$$

здесь σ – нормальное напряжение, E – *модуль упругости* или *модуль Юнга*, который зависит от материала стержня (или проволоки) и его физического состояния.

Модуль Юнга (или модуль продольной упругости) характеризует способность материала сопротивляться растяжению (сжатию) при упругой деформации. Модуль Юнга измеряется в паскалях (Па), мегапаскалях (МПа) или в гигапаскалях (ГПа).

Если в формуле (2) положить $\Delta l = l_0$, то получим, что $\varepsilon = 1$, а $\sigma = E$. Поэтому модулю Юнга иногда дают определение как механического напряжения, при котором длина стержня увеличится вдвое. Это определение имеет формальный характер, поскольку для таких больших деформаций закон Гука не выполняется и при $\Delta l = l_0$ практически все тела разрушаются.

Описание прибора

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

Исследуемая стальная проволока, которая имеет длину $l_0 = 1500$ мм и диаметр $d = 0,4 - 0,8$ мм верхним своим концом закреплена на кронштейне K .

К нижнему концу проволоки прикреплен цилиндр 2. Деформация продольного растяжения проволоки осуществляется под действием груза 3.

На нижнем кронштейне закреплен арретир A . Арретир - это устройство для закрепления подвижной части измерительного прибора в специальном положении (арретированном). Прибор должен быть арретирован в моменты нагружения проволоки грузами, а также тогда, когда проволоку освобождают от нагрузки. Арретир поднимается с помощью винта.

Груз 3 и груз 4 с крючками называют *площадками 3 и 4*.

На площадку 4 помещается весь набор грузов массами m_1, m_2, m_3, m_4, m_5 , служащих для нагружения проволоки.

Если к грузу 3 добавить груз массой m_1 , то он вызовет не только удлинение проволоки, но и прогиб верхнего кронштейна. Чтобы избежать влияния прогиба кронштейна K на величину деформации исследуемой проволоки, площадка 4 отдельно двумя проволоками и планками прикреплена к кронштейну K . Благодаря такому креплению при перекладывании грузов с площадки 4 на площадку 3 изменяется нагрузка только исследуемой проволоки, общая нагрузка на кронштейн остается постоянной.

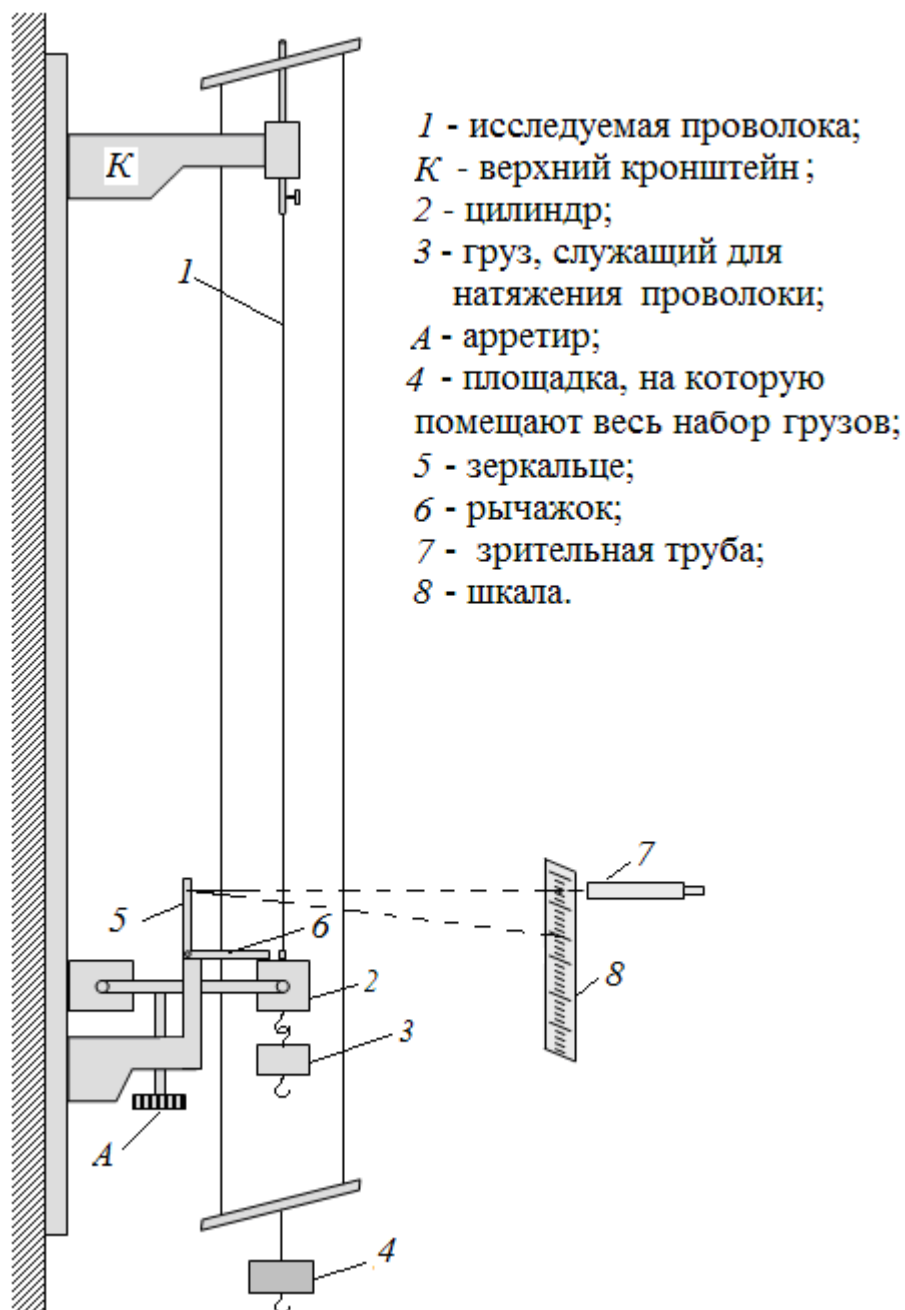


Рис.2.

Удлинения проволоки Δl достаточно малы. Измерить эти удлинения можно оптическим методом.

В верхней части нижнего кронштейна свободно вращается около горизонтальной оси, перпендикулярной плоскости чертежа, зеркальце 5 (рис.3). С зеркальцем скреплен рычажок 6, опирающийся на площадку цилиндра 2. Вследствие такого расположения рычажка 6 он следует за всеми вертикальными перемещениями, возникающими при изменении нагрузки проволоки.

Перед зеркальцем 5 установлена зрительная труба 7 и шкала 8, обращенная делениями к зеркальцу (рис. 3).

Теория опыта

Пусть в начале опыта под действием груза 3 зеркальце 5 размещено вертикально, тогда в зрительной трубе будет видно деление N_0 шкалы. Ход луча в этом случае направлен по прямым N_0C' и $C'N_0$.

Если теперь на площадку 3 с площадки 4 перенести груз m_1 , то проволока удлинится на Δl , рычаг и зеркальце повернутся на угол φ , а 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 .

В пределах упругости удлинение Δl достаточно мало. Поэтому и угол φ мал. Тогда из рис. 3 следует:

$$\Delta l = r\varphi, \quad (5)$$

$$|N_1 - N_0| = R2\varphi. \quad (6)$$

Здесь r – радиус поворота, который равен длине рычажка 6, R – расстояние от шкалы до зеркальца.

Совместное решение (5) и (6) дает:

$$\Delta l = \frac{r|N_1 - N_0|}{2R}. \quad (7)$$

Из формул (2) - (4) получаем формулу для модуля Юнга

$$E = \frac{F_{\text{упр}}l_0}{S\Delta l} \quad (8)$$

Подставляя сюда значение Δl из (7), одновременно выражая площадь поперечного сечения проволоки через диаметр $S = \frac{\pi d^2}{4}$, получим рабочую формулу для определения модуля Юнга

$$E = \frac{8 \cdot l_0 R m g}{\pi d^2 r |N_1 - N_0|}, \quad (9)$$

где d – диаметр проволоки;

m – масса груза на подвесе 3.

Порядок выполнения работы

1. На подготовленном к работе приборе помещают все грузы на площадку 4. Отпустив арретир, отсчитывают деление шкалы N_0 (с точностью до 1 мм), совпадающее с горизонтальной нитью окуляра. Результат отсчета записывают в таблицу.

2. Измеряют линейкой расстояние R от шкалы до зеркальца.

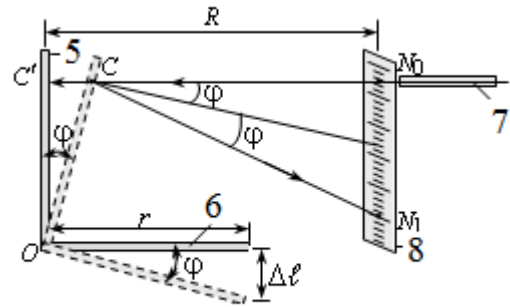


Рис. 3.

3. Перемещают груз m_1 с площадки 4 на площадку 3. Записывают отсчет N_1 . Прибор должен быть арретирован в моменты нагружения проволоки грузами.

4. Возвращают груз m_1 на площадку 4, а груз m_2 перемещают на площадку 3 и записывают новый отсчет N_1 по шкале. Затем то же самое проделывают с грузами m_3 , m_4 и m_5 . Результаты измерений заносят в таблицу.

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

5. По формуле (9) 5 раз определяют модуль Юнга и результаты заносят в таблицу. Используют необходимые данные

$$d = 0,3 \text{ мм}; l_0 = 1 \text{ м}; r = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}; R = 2 \text{ м}.$$

6. По известным формулам теории погрешностей (формулы приведены на плакате в аудитории) вычисляют стандартное отклонение S , по таблицам определяют коэффициент Стьюдента $t_{\alpha,n}$ и в итоге вычисляют предельную погрешность ΔE .

| № п/п | m , кг | N_0 , м | N_{1i} , м | E_i , Па | $\langle E \rangle$, Па | ΔE_i , Па | ΔE_i^2 , Па ² | $S_{\langle E \rangle}$, Па | α | $t_{\alpha,n}$ | ΔE , Па |
|----------|-------------|--------------|-----------------|---------------|-----------------------------|----------------------|-------------------------------------|---------------------------------|----------|----------------|--------------------|
| 1. | | | | | | | | | | | |
| 2. | | | | | | | | | | | |
| 3. | | | | | | | | | | | |
| 4. | | | | | | | | | | | |
| 5. | | | | | | | | | | | |

Окончательный результат записывают в виде:

$$E = (\langle E \rangle \pm \Delta E) \text{ Па, при } \alpha =$$

Контрольные вопросы

1. Какие виды деформации вы знаете? Какая деформация является упругой?
2. Что такое абсолютное и относительное удлинение?
3. Что называют механическим напряжением?
4. Сформулируйте закон Гука для деформации растяжения.
5. При каких условиях справедлив закон Гука?
6. Каков физический смысл модуля Юнга? Каковы единицы его измерения?
7. Каким методом измеряется удлинение проволоки в приборе Лермантова?

Новую редакцию осуществил проф. Гаркуша И.П.