

Лабораторна робота № 1.17

ВИЗНАЧЕННЯ МОДУЛЯ ЮНГА СТАЛІ З РОЗТЯГУВАННЯ ДРОТУ

Прилади: 1) прилад Лермантова; 2) мікрометр; 3) велика вимірювальна лінійка; 4) набір вантажів.
Мета роботи : визначити модуль пружності сталевого дроту.

Теоретичний вступ

Зміну форми і об'єму твердого тіла під дією зовнішніх сил називають **деформацією**. Деформацію вважають **пружною**, якщо після припинення дії зовнішньої сили тіло повністю відновлює свою форму і об'єм. Якщо ж форма і об'єм тіла не відновлюються, то деформацію називають **пластичною або залишковою**.

До основних видів деформації відносять: розтяг, стиск, вигин, зсув, кручення.

У цій роботі розглядається пружна деформація розтягування сталевого дроту завдовжки l_0 під дією зовнішньої сили F , спрямованої вздовж осі дроту.

При пружній деформації в твердому тілі виникають електричні за природою внутрішні сили (сили пружності $F_{\text{пруж}}$). Сили пружності $F_{\text{пруж}}$ спрямовані протилежно напрямку зовнішньої сили F і зрівноважують прикладені до тіла зовнішні сили. Якщо зовнішні сили усунути, то під дією сил пружності тіло займе первісний об'єм.

При розтягуванні дроту (або стрижня, див. рис 1) його довжина збільшиться на

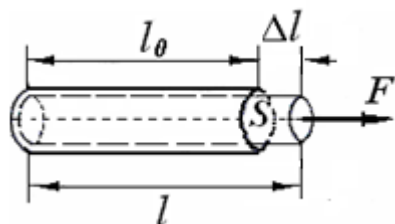


Рис. 1.

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

де l_0 – початкова, l – кінцева довжина дроту.

Величину Δl називають **абсолютним видовженням**, а відношення

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

– **відносним видовженням**.

Механічною напругою σ називають величину, що чисельно дорівнює модулю сили пружності, яка діє на одиницю площі S поперечного перерізу стрижня

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

Напругу називають **нормальною**, якщо сила $F_{\text{пруж}}$ спрямована перпендикулярно до поверхні S .

За невеликих пружних деформацій розтягу справедливий **закон Гука**, згідно з яким **механічна напруга прямо пропорційна відносній деформації**:

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

тут σ – нормальна напруга (сила, що припадає на одиницю площі поперечного перерізу тіла), ϵ – відносне видовження, E – *модуль пружності при деформації подовжнього розтягу або модуль Юнга*.

Модуль Юнга залежить від матеріалу стрижня (чи дроту) та його фізичного стану і характеризує здатність матеріалу чинити опір розтягуванню (стискуванню) при пружній деформації. В системі СІ модуль Юнга вимірюється в ньютонах на квадратний метр (Н/м^2), або паскалях (Па).

1 мегапаскаль (МПа) = 10^6 Па, 1 гігапаскаль (ГПа) = 10^9 Па. Для сталі, наприклад, $E \approx 2 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2 = 200 \text{ ГПа}$.

Опис приладу

Для визначення модуля пружності використовують прилад Лермантова (рис. 2). Досліджуваний сталевий дріт, який має довжину l_0 і діаметр d , верхнім своїм кінцем закріплений на кронштейні K . До нижнього кінця дроту прикріплений циліндр 2, за

допомогою якого здійснюється відлік деформації розтягу дроту.

У верхній частині нижнього кронштейна вільно обертається навколо горизонтальної осі, перпендикулярної до площини креслення, дзеркальце 5, яке розміщене вертикально (рис. 3). Із дзеркальцем скріплений важілець 6, що спирається на площадку циліндра 2. Внаслідок такого розміщення важільця 6 він слідує за усіма вертикальними переміщеннями, що виникають при зміні навантаження дроту.

Вантаж 3 який прикріплений гачком до циліндра 2, слугує для випрямлення дроту, його маса в

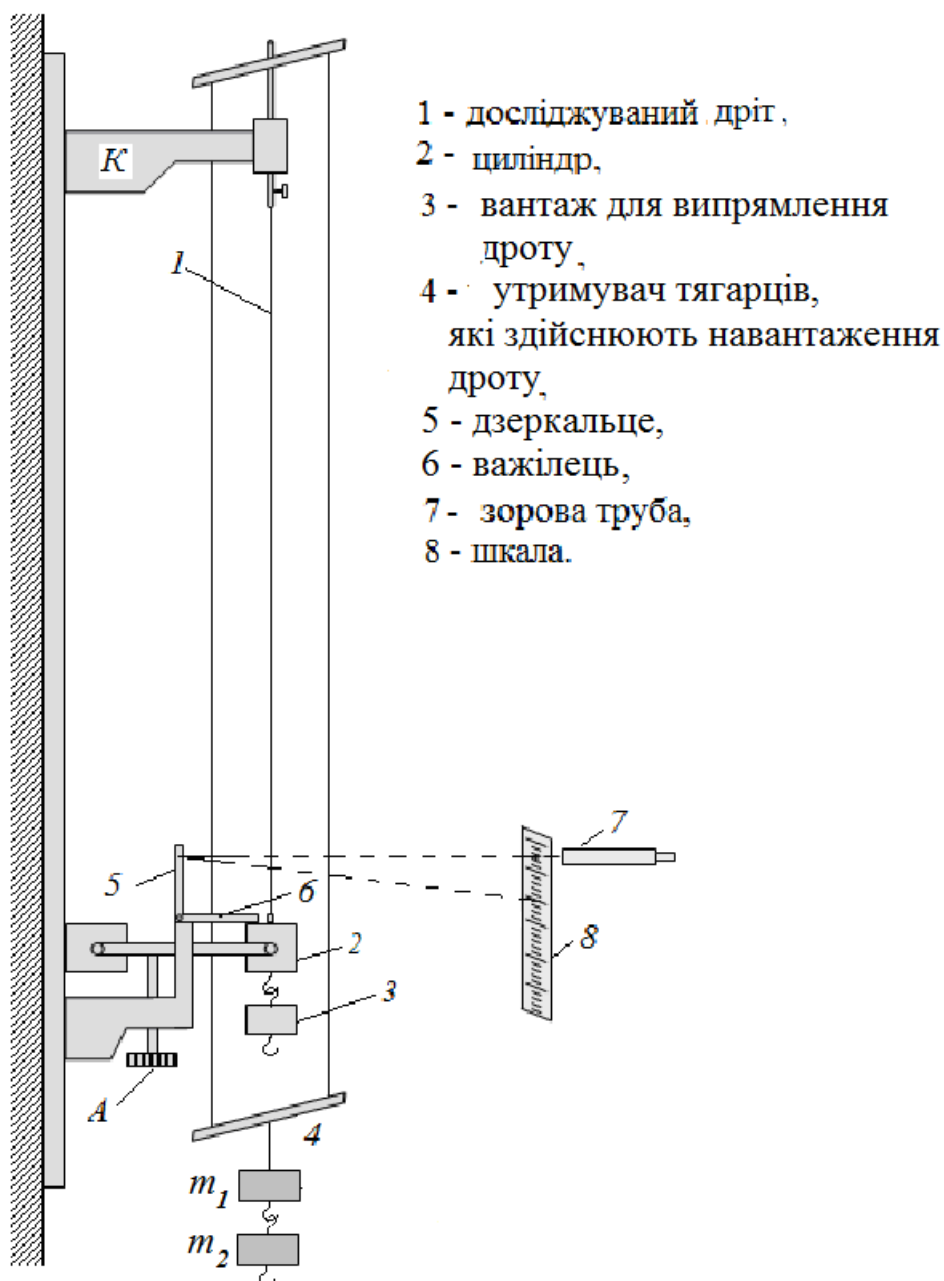


Рис.2.

розрахунках не враховується.

Підвіс 3 і підвіс 4 з гачками називають *монтажними майданчиками 3 і 4*.

На майданчик 4 поміщається увесь набір вантажів масами m_1, m_2, m_3, m_4, m_5 , , необхідних для навантаження дроту.

Деформація подовжнього розтягування дроту здійснюється під дією вантажів масами m_1, m_2, m_3, m_4, m_5 , які переміщують з майданчика 4 на майданчик 3 і прикріплюють гачками.

Якщо до підвісу 3 додати вантаж масою m_1 , то він спричинить не лише видовження дроту, але і прогин верхнього кронштейна. Щоб уникнути впливу прогину кронштейна на величину деформації досліджуваного дроту, майданчик 4 окремо двома дротами і планками прикріплений до кронштейна K . Завдяки такому кріпленню при перекладанні вантажів з майданчика 4 на майданчик 3 змінюється навантаження тільки досліджуваного дроту, загальне навантаження на кронштейн залишається сталим.

На нижньому кронштейні закріплений аретир A . Аретир - це пристрій для закріплення рухливої частини вимірювального приладу в спеціальному положенні.

При будь-якій зміні навантаження дроту аретир має бути попередньо включений - піднятий за допомогою гвинта. Це оберігає дріт від поштовхів . а також унеможливорює виривання дроту з місця закріплення.

Видовження дроту Δl досить малі. Тому виміряти ці видовження можна тільки спеціальними методами - оптичним методом дзеркала і шкали.

Перед дзеркальцем 5 встановлена зорова труба 7 і шкала 8, обернена поділками до дзеркальця (рис. 3).

Теорія дослідю

Нехай на початку вимірювань під дією вантажу 3 дзеркальце 5 розміщено вертикально, тоді в зоровій трубі буде видно поділку N_0 шкали. Хід променя в цьому випадку спрямований вздовж прямих N_0C' і $C'N_0$.

Якщо тепер на майданчик 3 з майданчика 4 перенести вантаж m_1 , то дріт подовжиться на Δl , важілець і дзеркальце обернуться на кут φ , а світловий промінь – на кут 2φ .

У зорову трубу буде видно поділку N_1 шкали. Хід променя в цьому випадку спрямований вздовж прямих N_0C і CN_1 .

У межах пружності видовження Δl достатньо мале. Тому і кут φ дуже малий. Тоді з рис. 3 слідує

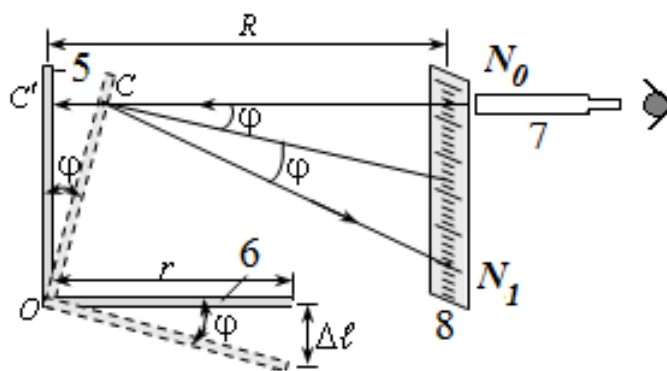


Рис. 3.

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

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

Тут r – радіус повороту, який дорівнює довжині важільця b , R – відстань від шкали до дзеркальця .

Спільне рішення(5) і (6) дає:

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

З формул (2) - (4) отримуємо формулу для модуля Юнга

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

Підставляючи сюди значення Δl з (7), одночасно виражаючи площу поперечного перерізу дроту через діаметр $S = \frac{\pi d^2}{4}$, отримаємо **робочу формулу** для визначення модуля Юнга

$$E = \frac{8 \cdot l_0 R m_1 g}{\pi d^2 r |N_1 - N_0|}, \quad (9)$$

де d – діаметр дроту; m_1 (або m_2, m_3, m_4, m_5) – маса вантажу на підвісі 3.

Порядок виконання роботи

1. На підготовленому до роботи приладі поміщають усі вантажі на майданчик 4. Відпустивши аретир, відлічують поділки шкали N_0 (з точністю до 1 мм), яке співпадає з горизонтальною ниткою окуляра. Результат відліку записують в таблицю.

2. Вимірюють лінійкою відстань R від шкали до дзеркальця 5

3. Переміщують вантаж m_1 с з майданчика 4 на майданчик 3. Записують відлік N_1 . Аретир має бути піднятим в моменти переміщення вантажів.

4. Повертають вантаж m_1 на майданчик 4, а вантаж m_2 переміщують на майданчик 3 і записують новий відлік N_1 за шкалою. Потім те ж саме виконують з вантажами m_3, m_4 і m_5 . Результати вимірів заносять в таблицю.

4. Після закінчення досліду усі вантажі мають знаходитися на майданчику 4, а аретир має бути піднятий.

5. За формулою (9) 5 разів визначають модуль Юнга і результати заносять в таблицю. Використовують такі необхідні дані:

$$d = 0,3 \text{ мм} ; l_0 = 1 \text{ м} ; r = 1,5 \cdot \text{см} ; R = 2 \text{ м} , g = 9,81 \text{ м/с}^2.$$

6. За відомим алгоритмом теорії похибок (формули для зручності приведені на плакаті в лабораторії) обчислюють середнє арифметичне $\langle E \rangle$ значення модуля Юнга та абсолютну похибку середнього $\langle \Delta E \rangle$.

Таблиця

m_1 , кг	N_0 , мм	N_1 , мм	$ N_1 - N_0 $, мм	E_i , Па, ф-ла (9)	$\langle E \rangle$	$\Delta E_i = E_i - \langle E \rangle$	$\langle \Delta E \rangle$
m_1							

m_2							
m_3							

Остаточний результат записують у вигляді:

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

Контрольні питання

1. Які види деформації ви знаєте? Яка деформація є пружною?
2. Що таке абсолютне і відносне видовження?
3. Що називають механічною напругою?
4. Сформулюйте закон Гука для деформації розтягування.
5. За яких умов справедливий закон Гука?
6. Який фізичний зміст модуля Юнга? Які одиниці його виміру?
7. Яким методом вимірюється видовження дроту в приладі Лермантова?