

10.10.2022

Група 22

Фізика і астрономія

Урок 7-8

Тема: Деформації. Механічні властивості твердих тіл. Модуль Юнга

Мета:

- Повторити теоретичний матеріал; узагальнити, систематизувати та поглибити знання учнів із теми; застосувати математичні знання під час розв'язування прикладних задач; формувати просторову уяву;
- розвивати в учнів пізнавальний інтерес, уміння використовувати набуті знання, навички й уміння в нових ситуаціях; підвищити інтерес до вивчення математики; розвивати абстрактне та логічне мислення;
- виховувати у учнів повагу та зацікавленість до вивчення математики, старанність у навчанні; сприяти розширенню кругозору учнів.

### Матеріали до уроку:

#### 1 Які існують види деформації

Нагадаємо: **деформація** — це зміна форми та (або) розмірів тіла. Якщо після припинення дії зовнішніх сил тіло повністю відновило свої форму і розміри, то воно зазнало *пружної деформації*; якщо форма і розміри не відновилися, тіло зазнало *пластичної деформації*.

Коли тіло деформується, окремі його частини зміщуються одна відносно одної. За характером зміщення частин розрізняють *деформації розтягнення (стиснення), вигину, зсуву, кручення*:

Види деформацій	
	Сили, прикладені до тіла, намагаються видовжити або укоротити тіло, внаслідок чого відстань між шарами молекул збільшується ( <i>деформація розтягнення</i> ) або зменшується ( <i>деформація стиснення</i> ).
	Сили, прикладені до тіла, намагаються викривити (вигнути) тіло. <i>Деформація вигину</i> — це водночас деформація розтягнення і деформація стиснення: опукла частина тіла зазнає деформації розтягнення (відстань між шарами молекул збільшується); увігнута частина — деформації стиснення (відстань між шарами молекул зменшується).
	Сили, прикладені до тіла, напрямлені протилежно одна одній і зсовують шари тіла один відносно одного. <i>Деформації зсуву</i> зазнають, наприклад, цвяхи та болти, які скріплюють частини різних конструкцій; тканина, яку розрізають ножицями. Зсув на великі кути $\alpha$ може призвести до руйнування тіла — <i>зрізу</i> .
	Сили, прикладені до тіла, створюють обертальний момент відносно поздовжньої осі тіла. Зсув шарів молекул відбувається неоднаково — кожний шар повертається на певний кут відносно іншого шару. <i>Деформації кручення</i> зазнають вали всіх машин, гвинти, ключі, викрутки тощо.

## 2 Що таке механічна напруга

Коли тіло деформується, його стан змінюється: у будь-якому перерізі тіла виникають сили пружності, що перешкоджають руйнуванню; чим більше деформоване тіло, тим більшими є сили пружності. Стан деформованого тіла характеризується *механічною напругою*.

**Механічна напруга  $\sigma$**  — фізична величина, яка характеризує деформоване тіло і дорівнює відношенню модуля сили пружності  $F_{\text{пруж}}$  до площі  $S$  поперечного перерізу тіла\*:

$$\sigma = \frac{F_{\text{пруж}}}{S}$$

Одиниця механічної напруги в СІ — паскаль:  
 $[\sigma] = 1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$  ( $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$ ).

Установлено, що механічна напруга залежить від *відносного видовження* тіла.

**Відносне видовження  $\varepsilon$  тіла** — фізична величина, яка дорівнює відношенню видовження  $\Delta l$  до початкової довжини  $l_0$  тіла:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}, \text{ або } \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100\%$$

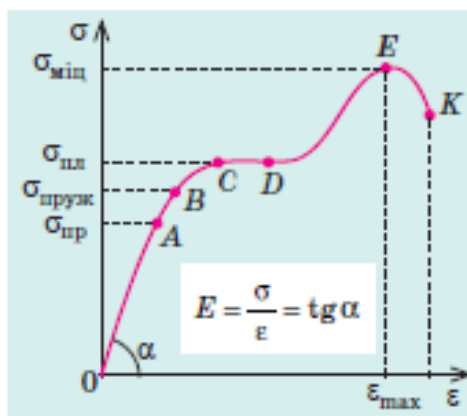
## 3 Будуємо й аналізуємо діаграму напруг

Залежність механічної напруги від відносного видовження встановлюють експериментально. Зразок витягують за допомогою спеціальної розривної машини, поступово збільшуючи навантаження. У ході дослідження будується *діаграма напруг* — графік залежності механічної напруги від відносного видовження зразка (рис. 35.2). Досліди показують, що за невеликих деформацій (ділянка  $OA$  графіка) виконується **закон Гука**:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad **$$

Модулі Юнга  
для деяких матеріалів

Матеріал	Модуль Юнга $E, \times 10^9 \text{ Па}$
Алюміній	63–70
Бетон	15–40
Каучук	$7,9 \cdot 10^{-3}$
Мідь (лиття)	82
Срібло	82,7
Скло	49–78
Чавун ковкий	150



$\sigma_{\text{пр}}$  — *межа пропорційності* — найбільша напруга, за якої виконується закон Гука.

$\sigma_{\text{пруж}}$  — *межа пружності* — найбільша напруга, за якої деформація залишається пружною.

$\sigma_{\text{пл}}$  — *межа плинності* — напруга, за якої зразок починає подовжуватися без збільшення навантаження.

$\sigma_{\text{міц}}$  — *межа міцності* — найбільша напруга, у разі перевищення якої зразок руйнується.

**Рис. 35.2.** Діаграма напруг:  $OAB$  — ділянка пружних деформацій;  $BC$  — ділянка пластичних деформацій;  $CD$  — ділянка плинності матеріалу;  $EK$  — руйнування зразка

Коефіцієнт пропорційності  $E$  називають *модулем Юнга* або *модулем пружності*. Модуль Юнга характеризує пружні властивості матеріалу, його визначають за діаграмою напруг (див. рис. 35.2) і фіксують у таблицях.

Одиниця модуля Юнга в СІ — паскаль:

$$[E] = 1 \text{ Па (Pa)}.$$

Таблиця 35.1

Модулі Юнга для деяких матеріалів

Матеріал	Модуль Юнга $E, \times 10^9 \text{ Па}$
Алюміній	63–70
Бетон	15–40
Каучук	$7,9 \cdot 10^{-3}$
Мідь (лиття)	82
Срібло	82,7
Скло	49–78
Чавун ковкий	150

Повернемося до рис. 35.2. Як тільки навантаження стане таким, що механічна напруга в зразку сягне *межі пропорційності*  $\sigma_{пр}$ , залежність  $\sigma(\epsilon)$  стає нелінійною (ділянка *AB* графіка), проте якщо зняти навантаження, то зразок відновить свої форму та розміри, тобто ділянка *OAB* діаграми напруг — це ділянка *пружних деформацій*.

Якщо збільшувати навантаження далі, то після досягнення *межі пружності*  $\sigma_{пруж}$  деформація починає швидко зростати і стає *пластичною* (ділянка *BC*), а після досягнення *межі плинності*  $\sigma_{пл}$  зразок взагалі деякий час подовжується без збільшення навантаження (ділянка *CD*). Якщо навантаження знову збільшити, зразок ще трохи видовжиться (ділянка *DE*), напруга в зразку сягне *межі міцності*  $\sigma_{міц}$ , після чого зразок розірветься.

#### 4 Пружність, пластичність, крихкість

Зігнемо сталеву лінійку, а потім відпустимо її — лінійка повністю відновить свою форму. Якщо те саме зробити зі свинцевою пластинкою, вона так і залишиться зігнутою. А от якщо спробувати зігнути пластинку зі скла, то скло зламається навіть за незначної деформації. Залежно від «реакції» матеріалу на деформацію розрізняють *пружні, пластичні, крихкі матеріали*.

Пружні матеріали	Пластичні матеріали	Крихкі матеріали
Матеріали, які виявляють пружні властивості за порівняно великих деформацій або за досить тривалої дії	Матеріали, в яких пружна деформація переходить у пластичну за незначних деформацій	Матеріали, які руйнуються за дуже малих деформацій і майже не виявляють пластичних властивостей
		

Розподіл матеріалів на пружні, пластичні і крихкі значною мірою є умовним, адже властивості матеріалів суттєво залежать від вологості, температури, швидкості збільшення навантаження тощо. Наприклад, свинець, який є пластичним за нормальних умов, стає пружним за температури  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , пружна гума за низьких температур стає крихкою. Глина є крихкою в сухому стані і пластичною — у вологому. Бітум під час повільного збільшення навантаження виявляє пластичні властивості, а під час швидкого збільшення навантаження стає крихким.



Установіть відповідність між тілом та деформацією, якої воно здебільшого зазнає.

- |                                    |               |
|------------------------------------|---------------|
| 1 Ластик під час видалення надпису | А Розтягнення |
| 2 Шпала залізничної колії          | Б Стиснення   |
| 3 Дверний ключ                     | В Зсув        |
| 4 Стропи парашута                  | Г Вигін       |
|                                    | Д Кручення    |

1. Б.

2. Г.

3. Д.

4. А.

2 Позначте одну правильну відповідь.

У деяких речовин розташування молекул (атомів, йонів) характеризується близьким порядком. У якому переліку наведено лише такі речовини?

А Графіт, пластмаса, скло

В Смола, віск, скло

Б Мідь, алюміній, кухонна сіль

Г Залізо, графіт, пластилін

√2. В)

3 Позначте всі правильні твердження.

А Після досягнення межі міцності зразок починає подовжуватися без збільшення навантаження.

Б Розташування йонів золота характеризується далеким порядком.

В Механічна напруга не залежить від матеріалу деформованого тіла.

Г Скло має чітко визначену температуру плавлення.

√3 Б).

4 Яка середня механічна напруга виникає в канаті, діаметр поперечного перерізу якого 2 см, коли учень масою 60 кг піднімається цим канатом? Вважайте, що  $\pi = 3$ .

√4 Дано:

$$d = 2 \text{ см} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$m = 60 \text{ кг}$$

$$\pi = 3$$

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\sigma = ?$$

$$\sigma = \frac{60 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{3 \cdot (10^{-2})^2 \text{ м}}$$

$$\sigma = \frac{F_{\text{упр}}}{S}$$

$$F_{\text{упр}} = F_{\text{г}} = mg$$

$$S = \pi R^2$$

$$R = \frac{2 \cdot 10^{-2} \text{ м}}{2} = 10^{-2} \text{ м}$$

$$\sigma = \frac{mg}{\pi R^2}$$

$$= \frac{200 \text{ Н}}{10^{-4} \text{ м}^2} = 2 \cdot 10^6 \text{ Па} = 2 \text{ МПа}$$

Відповідь:  $\sigma = 2 \text{ МПа}$

5 Як зміниться жорсткість дроту, якщо втричі збільшити його довжину, протягнувши через волочильний верстат? Відповідь обґрунтуйте.

$$k_1 = \frac{E \cdot S}{l}, \quad k_2 = \frac{E \cdot \frac{S}{9}}{3l} = E \cdot \frac{S}{9} \cdot \frac{1}{3l} = \frac{E \cdot S}{27l}$$

Відповідь: зменшиться в 27 разів.

**6** Визначте модуль Юнга матеріалу, з якого виготовлено шнур, якщо в разі збільшення його довжини від 1 м до 1,2 м механічна напруга в ньому становитиме 10 МПа?

Дано:

$$\begin{array}{l} \Delta l = 0,2 \text{ м} \\ \sigma = 10 \text{ МПа} = 10^7 \text{ Па} \\ l_0 = 1 \text{ м} \\ E = ? \end{array} \left| \begin{array}{l} E = \frac{\sigma}{|\epsilon|} \\ |\epsilon| = \left| \frac{\Delta l}{l_0} \right| \\ E = \frac{\sigma}{\left| \frac{\Delta l}{l_0} \right|} \end{array} \right.$$

$$E = \frac{10^7 \text{ Па}}{\left| \frac{0,2 \text{ м}}{1 \text{ м}} \right|} = \frac{10^7 \text{ Па}}{0,2} = \frac{10^8 \text{ Па}}{2} = 5 \cdot 10^7 \text{ Па}$$

Відповідь:  $E = 5 \cdot 10^7 \text{ Па}$

**Домашнє завдання:** навчальний проект (реферат, презентація тощо) на обрану тему:

- 1) Внутрішня енергія та способи її зміни.
- 2) Робота в термодинаміці.
- 3) Перший закон термодинаміки.
- 4) Адіабатний процес.
- 5) Принцип дії теплових двигунів.
- 6) Холодильна машина.
- 7) Виявлення поверхневого натягу у природі.
- 8) Тиск Лапласа.
- 9) Рідкі кристали.
- 10) Полімери.

Бути готовими демонструвати свою роботу на наступному уроці.

**Зворотній зв'язок:**

**E-mail** [t.anastasia.igorivna@gmail.com](mailto:t.anastasia.igorivna@gmail.com)