


ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

**ТЕОРЕТИЧНА ТА ПРИКЛАДНА
МЕХАНІКА.
РОЗДІЛ «ОПІР МАТЕРІАЛІВ»**

методичні рекомендації
до виконання лабораторних робіт

Запоріжжя 2024



УДК 539.3/6
Т30

Рекомендовано Науково-методичною
радою ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ
ПОЛІТЕХНІКА»
(протокол № 1 від 27.09.2024 р.)

Укладачі:

Кайдаш М.Д., канд. техн. наук, доцент;

Колесников С.О., канд. фіз-мат. наук, доцент;

Ющенко С.М., канд. техн. наук, доцент.

Т30 Теоретична та прикладна механіка. Розділ «Опір матеріалів»: методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт (для студентів спеціальностей 131і, 132, 136, 141, 174, 184М, 184В, 184ЗКК, 184РКК усіх форм навчання першого (бакалаврського) рівня вищої освіти) / уклад. М.Д. Кайдаш, С.О. Колесников, С.М. Ющенко. Запоріжжя: ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2024. 42 с.

У методичних рекомендаціях наведено тематику лабораторних робіт, основні теоретичні відомості, методичні пояснення щодо порядку проведення лабораторних робіт, критерії оцінювання, вимоги до оформлення звітів, питання для самоперевірки тощо.

УДК 539.3/6

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2024



ЗМІСТ

Вступ	4
1 Лабораторна робота №1. «Випробування на розтяг низьковуглецевої сталі»	6
1.1 Теоретичні відомості	6
1.2 Виконання роботи	16
1.3 Питання для самоперевірки.....	17
1.4 Перелік рекомендованих джерел.....	18
2 Лабораторна робота №2. «Випробування на стиск чавуну та деревини»	19
2.1 Теоретичні відомості	19
2.2 Виконання роботи	23
2.3 Питання для самоперевірки.....	24
2.4 Перелік рекомендованих джерел.....	25
3 Лабораторна робота №3. «Експериментальне визначення напружень та деформацій при згині сталюї балки»	26
3.1 Теоретичні відомості	26
3.2 Виконання роботи	32
3.3 Питання для самоперевірки.....	33
3.4 Перелік рекомендованих джерел.....	33
Додаток А. Механічні характеристики матеріалів	34
Додаток Б. Протокол випробувань до лабораторної роботи №1	36
Додаток В. Протокол випробувань до лабораторної роботи №2	38
Додаток Г. Протокол випробувань до лабораторної роботи №3	41
Додаток Д. Приклад титульного листа	44



ВСТУП

Одним з розділів вивчення дисципліни «Теоретична та прикладна механіка» є «Опір матеріалів», де здобувач отримує практичні компетенції щодо інженерних розрахунків на міцність, жорсткість і стійкість деталей машин та елементів споруд. Виконання розрахунків ґрунтується на аналітичних методах з використанням числових фізико-механічних характеристик матеріалів. Для визначення механічних характеристик та деформацій, котрих зазнають матеріали типових елементів конструкцій, в лабораторних умовах проводяться експериментальні дослідження.

Метою виконання лабораторних робіт в курсі «Теоретична та прикладна механіка» є:

- набуття здобувачами навичок експериментального визначення основних фізико - механічних характеристик матеріалів;
- демонстрація законів теорії пружності, що вивчаються в опорі матеріалів і визначають зв'язок між напруженнями та деформаціями;
- формування поглибленого розуміння фізичної сутності явищ при різних деформаціях;
- перевірка гіпотез, на яких базуються теоретичні висновки опору матеріалів.

Результатом виконання кожної лабораторної роботи є оформлений за вимогами та завантажений в платформу Moodle звіт, що містить титульний лист та протокол випробувань. Звіт виконується у вигляді документів з розширенням: .docx, або pdf, або .jpg. Максимальна оцінка, яку здобувач може отримати за виконання кожної лабораторної роботи, становить 5 балів.

Складниками максимальної оцінки є: 1) оцінювання оформленого звіту – максимум 3 бали; 2) рівень засвоєння теоретичного матеріалу лабораторної роботи, що визначається в результаті спілкування студента з викладачем – максимум 2 бали.

При виправленні студентом незначних недоліків в розрахунках або оформленні звіту і повторному завантаженні виправленої роботи не пізніше тижня після її запланованого виконання, максимальна оцінка не знижується.

Проведення лабораторних робіт передбачає дослідження механічних характеристик таких матеріалів, як сталь, чавун та деревина, що широко використовуються в гірничодобувній промисловості та металургії.

Перш ніж розпочати виконання лабораторної роботи, необхідно засвоїти теоретичний матеріал, ознайомитись з принципом дії лабораторного обладнання, вимірювальними пристроями та інструментами. До протоколів лабораторних робіт мають бути внесені: чисельні результати, отримані в процесі експериментів; відповідні схеми, рисунки та графіки; результати обчислень; висновки по роботі. Підготовка до виконання лабораторних робіт проводиться під час самостійної роботи здобувача.



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

Випробування на розтяг низьковуглецевої сталі

1.1 Теоретичні відомості

Міцність елементів будь-якої конструкції залежить від механічних властивостей матеріалів із яких вони виготовлені.

Всі конструкційні матеріали умовно можна розділити на дві групи: пластичні та крихкі. До пластичних відносяться низьковуглецеві сталі, алюміній, мідь, свинець, латунь та ін.

Сталь – сплав заліза з вуглецем (карбоном), який містить до 2,14% вуглецю та деякі домішки. Залежно від вмісту вуглецю (C) сталі розділяють на: низьковуглецеві (до 0,25% C), середньовуглецеві (0,25 – 0,6% C) і вуглецеві (понад 0,6% C).

Характерною особливістю пластичних матеріалів є те, що вони допускають значні деформації без руйнування.

Крихкі матеріали (вуглецеві сталі, чавун, скло, металокераміка, камінь, бетон тощо) ,на противагу пластичним, руйнуються без помітної деформації.

Такі матеріали, як леговані сталі, дюралюміній, бронза займають проміжне положення між пластичними та крихкими.

Розподіл матеріалів на крихкі й пластичні є дещо умовним і залежить від швидкості навантаження, впливу температур, геометричних особливостей елементів конструкцій тощо. Наприклад, пластична сталь, як при низьких температурах, так і при ударному навантаженні виявляє ознаки саме крихкого матеріалу.

Розглянемо механізм деформування металів, що мають кристалічну будову і є одними з найбільш поширених конструкційних матеріалів. Для визначення механічних характеристик металів проводять їх випробування на розтяг, стиск, зсув, кручення, згин, твердість та ін. Найбільш розповсюдженими є досліди на розтяг та стиск при статичному навантаженні. Такі експерименти проводять на спеціальних розривних машинах з механічними або гідравлічними приводами. В процесі випробування матеріалу розривна машина деформує зразок і водночас вимірює силу опору створеної деформації. На рис. (1.1) показано одну із моделей розривних машин марки МР-200. Машина призначена для статичних випробувань металів, арматурної сталі, листового і круглого прокату та зварних з'єднань на розтяг при нормальній температурі відповідно до чинного стандарту [1].

На відміну від інших розривних машин гідравлічна машина МР-200 має гідравлічні клинові захоплення випробуваного зразка та гідравлічне переміщення у випробувальному просторі в процесі розтягування. Машина МР-200 оснащена системою вимірювання, що дозволяє за показанням індикації проводити випробування із заданою швидкістю.

Вимірювання навантаження здійснюється за допомогою торсійного блоку з механічним двокоординатним самописцем. МР-200 має три діапазони вимірювання: перший – до 40 кН; другий – до 100 кН; третій – до 200 кН.



Рисунок 1.1 – Гідравлічна розривна машина МР-200

Для отримання однакових результатів незалежно від розмірів досліджуваних зразків необхідно дотримуватися певних геометричних співвідношень. За стандартом [1] дослідження проводяться на циліндричних зразках з круглим поперечним перерізом або на плоских зразках з прямокутним поперечним перерізом (рис.1.2). Циліндричні зразки виготовляють із круглого пруткового прокату, плоскі – вирізають із листа. Як для циліндричних, так і для плоских зразків стандартами передбачено дотримання співвідношень:

$$\frac{l_0}{\sqrt{A_0}} = 11,3; \quad (1.1)$$

$$\frac{l_0}{\sqrt{A_0}} = 5,65, \quad (1.2)$$

де l_0 – розрахункова довжина зразка; A_0 – площа поперечного перерізу зразка.

Розрахунковою називають довжину, на якій визначають деформації. Для закріплення в розривній машині в зразках передбачено наявність хвостовиків. Плавні перехідні частини між ділянкою розрахункової довжини l_0 та хвостовиками необхідні для забезпечення однорідної деформації зразка в процесі випробувань (рис. 1.2).

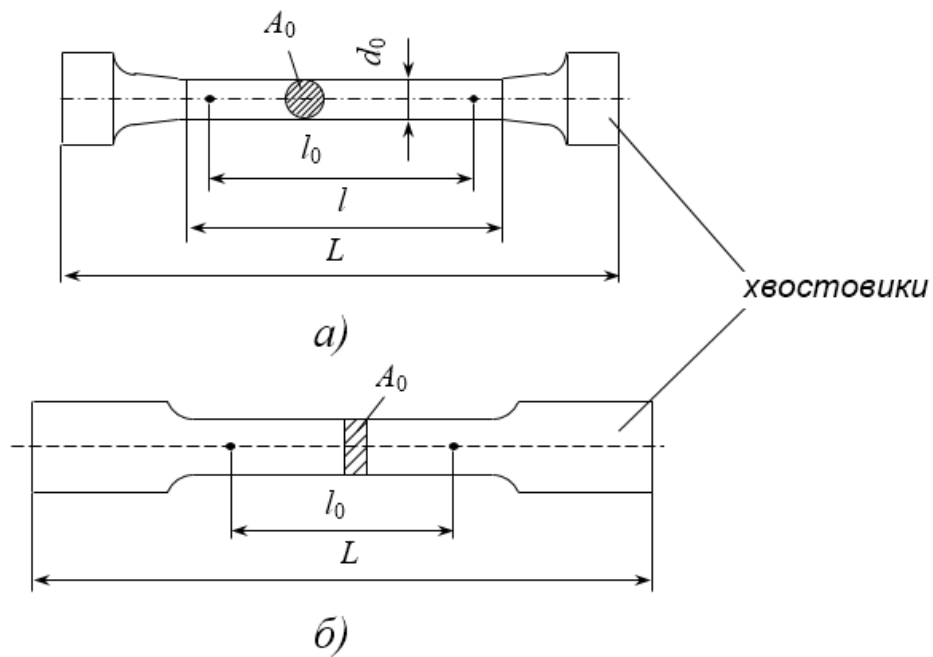


Рисунок 1.2 – Зразки для випробування на розтяг:
а – циліндричний; б) – плоский

Беручи до уваги, що для циліндричного зразка $A_0 = \frac{\pi d_0^2}{4}$, де d_0 – діаметр зразка, співвідношення (1.1) та (1.2) можна представити у вигляді:

$$\frac{l_0}{d_0} = 10, \text{ та } \frac{l_0}{d_0} = 5 \quad (1.3)$$

Циліндричні зразки із наведеними співвідношеннями називають відповідно *десятикратними та п'ятикратними*. Циліндричні зразки з діаметрами 5 мм і 10 мм є основними. Стандартом передбачено також використання зразків з іншими діаметрами за умови, що відношення їх довжини до діаметра має бути 5 або 10.

В процесі розтягування зразка його довжина збільшується, а поперечні розміри скорочуються. Збільшення довжини зразка Δl (рис. 1.3) називається *абсолютним видовженням*.

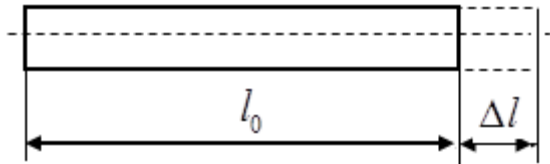


Рисунок 1.3 – Схема видовження зразка

При випробуванні зразка на розтяг реєструють значення осьової сили F і видовження Δl , на основі яких будується *діаграма розтягу* в координатах сила – видовження. На випробувальних розривних машинах такі діаграми викреслюються автоматично.

Діаграму розтягу для пластичної низьковуглецевої сталі показано на рис. 1.4.

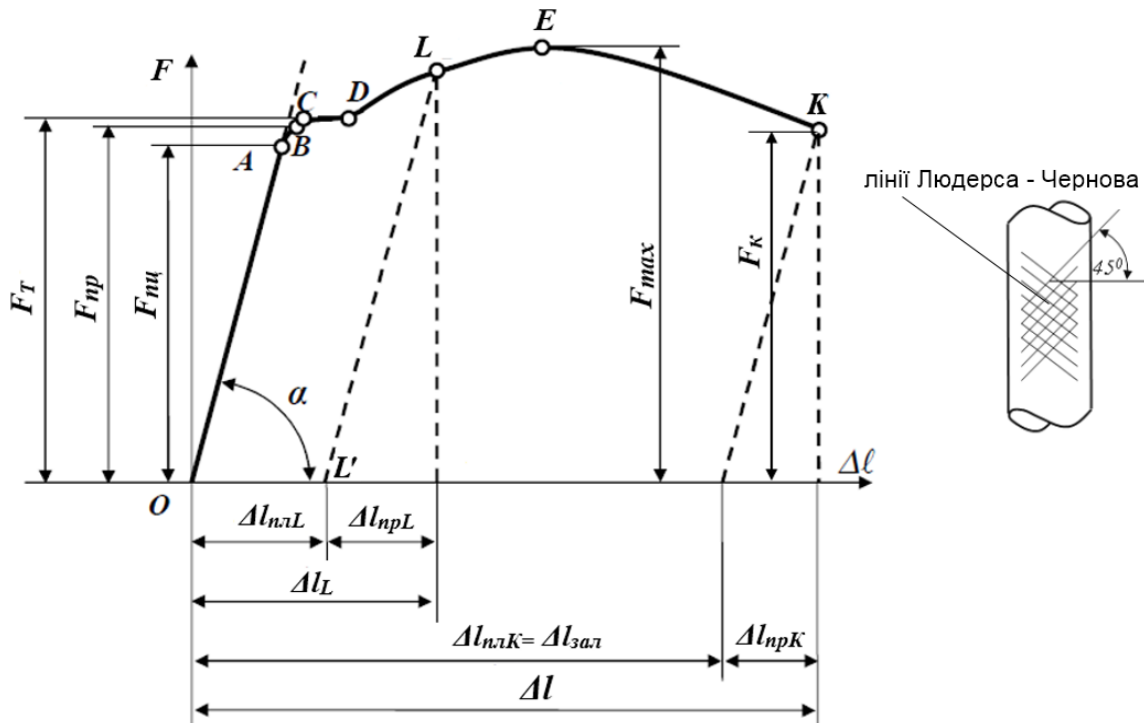


Рисунок 1.4 – Діаграма розтягу для низьковуглецевої сталі

На діаграмі можна виділити наступні характерні ділянки.

Ділянка OA – зона пружних деформацій, в якій є *лінійна* залежність між навантаженням і видовженням, тобто в межах прямої OA справедливий *закон Гука*:

$$\Delta l = \frac{F \cdot l_0}{E \cdot A_0}, \quad (1.4)$$

де l_0 – початкова довжина зразка; F – докладене зусилля; E – модуль пружності першого роду, або модуль Юнга.

Взагалі модуль Юнга характеризує пружні властивості (жорсткість) ізотропних матеріалів.

Для низьковуглецевої сталі: $E \approx 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$, де $1 \text{ МПа} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$.

Ділянка AB – зона пружних деформацій, в якій залежність між навантаженням і видовженням є нелінійною. До точки B деформації залишаються пружними, тобто при знятті навантаження деталь відновляє свої розміри та форму.

Ділянка BC – перехідна нелінійна ділянка, на якій у зразку разом з пружними з'являються пластичні деформації. Ділянка BC переходить в горизонтальну ділянку CD – «*площинку текучості*», де видовження зразка відбувається при сталому значенні сили F . Такий процес називається *текучістю матеріалу*. Тут частково руйнується кристалічна структура матеріалу і змінюються його фізичні властивості, як тепло-, електропровідність тощо. На цій ділянці утворюються залишкові пластичні деформації, що не зникають після повного розвантаження зразка. Видовження зразка на ділянці текучості відбувається рівномірно по всій його довжині. Тому ділянку текучості називають також ділянкою *загальної текучості*.

Одночасно з появою текучості, яка дає початок великим пластичним деформаціям, можна помітити помутніння добре відполірованої поверхні зразка, а при досить сильному збільшенні – виявити сітку ліній, нахилених під кутом, близько 45° , до осі зразка. Ці лінії називають *лініями Людерса-Чернова* (рис. 1.4). Вони являють собою сліди зсувів частинок матеріалу.

Наступна ділянка DE – *ділянка зміцнення*, на якій подальше деформування матеріалу відбувається зі зростанням сили. Якщо зразок навантажити силою, що відповідає, наприклад, точці L діаграми, а потім зняти навантаження, то процес розвантаження відображується прямою LL' , паралельною OA . Зразок при цьому буде мати залишкову деформацію Δl_{nl} . При повторному навантаженні процес буде проходити по прямій $L'L$. При цьому ділянка, в границях якої справедливий закон Гука, збільшиться ($L'L > OA$). Пружна деформація при цьому складе Δl_{npL} .

Явище зміцнення матеріалу і збільшення його твердості в результаті витяжки матеріалу за межами границі текучості, називається *наклепом*, або *деформаційним зміцненням*. Позитивна роль наклепу полягає у підвищенні тримальної здатності й довговічності деталей машин та елементів споруд, особливо тих, що працюють в умовах знакозмінних навантажень. Так, для надання пружних властивостей листову мідь або латунь в холодному стані прокатують на вальцях. Ланцюги та троси зазвичай піддають попередньому витягненню зусиллями, що перебільшують робоче навантаження. Такий підхід запобігає появі залишкових видовжень в процесі експлуатації.

Оскільки із збільшенням твердості зростає також крихкість матеріалу, в деяких випадках явище наклепу є небажаним. Наприклад, в процесі штампування тонкостінних деталей. В такому випадку технологічну операцію штампування проводять у декілька етапів із застосуванням термообробки.

Ділянка EK – ділянка *місцевої текучості*. Деформація зразка на цій ділянці характеризується появою в т. E звуження (шийки), коли сила F набуває максимального значення F_{max} і починається руйнування матеріалу. Надалі зразок видовжується внаслідок зменшення площі його поперечного перерізу саме в області звуження (рис.1.5). В точці K діаграми розтягу при дії сили F_k відбувається остаточне руйнування (розрив) зразка.

На будь-якій стадії видовження зразка пружні деформації виникають відповідно до закону Гука. Отже, розвантаження відбувається таким же чином, як і на ділянці OA .

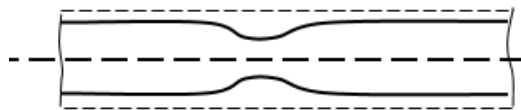


Рисунок 1.5 – Місцева деформація зразка

Звідси можна зробити висновок, що після руйнування зразка його залишкове видовження $\Delta l_{nlK} = \Delta l_{зал}$ буде меншим за повне видовження в момент розриву в точці K на величину пружного видовження $\Delta l_{прK}$ (рис. 1.4).

Діаграма розтягу також дає можливість визначити питому роботу руйнування, що характеризує спроможність матеріалу сприймати ударні навантаження.

Для виключення залежності діаграми розтягу від розмірів зразка її перебудовують в координатах «напруження σ – відносна деформація ε », де

$$\sigma = \frac{F}{A_0}, \quad (1.5)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}. \quad (1.6)$$

Така діаграма називається *діаграмою напружень* (рис. 1.6).

Слід зазначити, що в процесі розтягування реальна площа поперечного перерізу зменшується і, як наслідок, обчислені напруження будуть дещо занижені порівняно з дійсними напруженнями. Тому побудована діаграма при $A_0 = const$ називається *умовною діаграмою напружень*.

Інша діаграма, що побудована з урахуванням зменшення площі поперечного перерізу зразка в процесі його навантаження, називається *дійсною діаграмою напружень*.

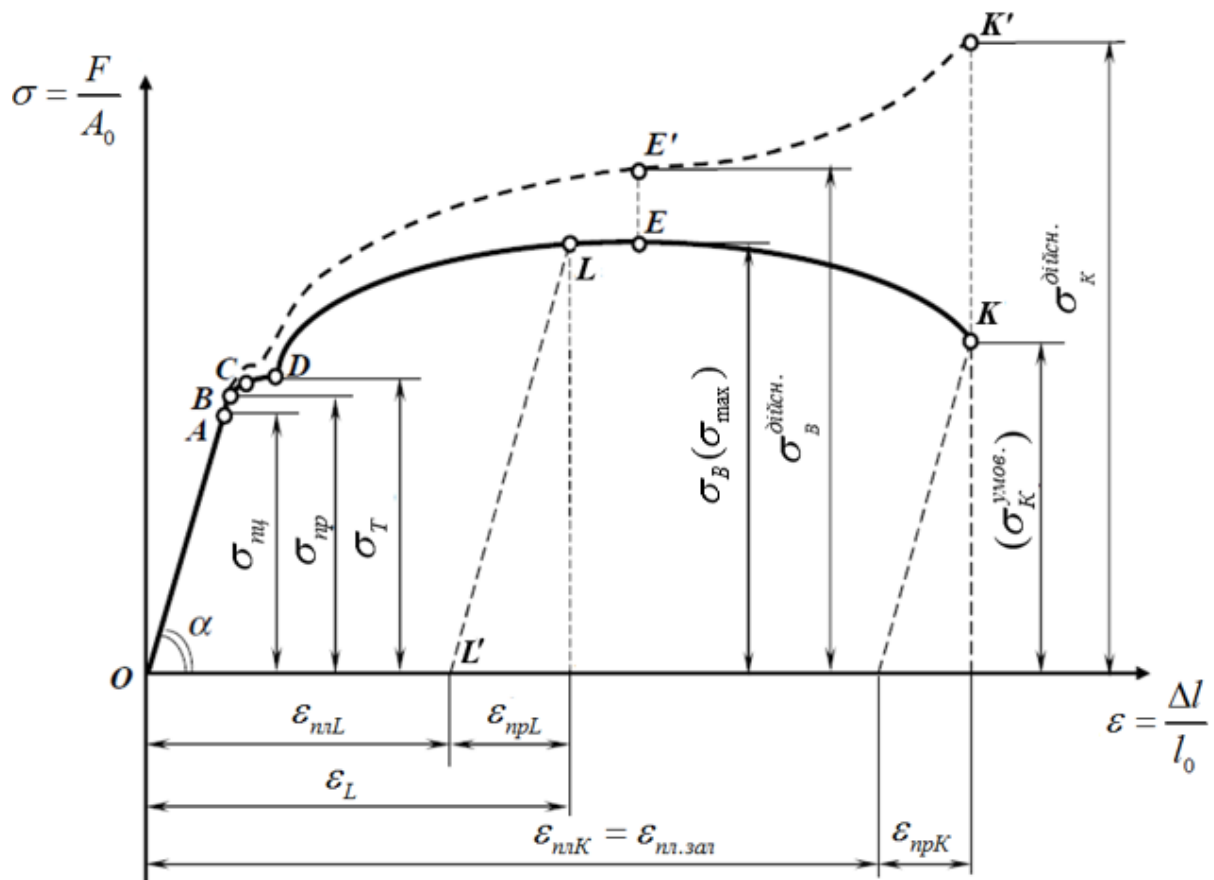


Рисунок 1.6 – Діаграми напружень для розтягу низьковуглецевої сталі: умовна і дійсна

На рис.1.6 графіки умовної та дійсної діаграм напружень показано суцільною і пунктирною кривими відповідно. На відміну від умовної діаграми напружень дійсна діаграма має зростальний характер. Напруження в момент розриву зразка за дійсною діаграмою $\sigma_K^{дiйсн.}$ набагато перевищує напруження розриву за умовною діаграмою $\sigma_K^{умов.}$, оскільки площа перерізу зразка суттєво зменшується від початкового значення A_0 до A_K в момент руйнування.

Для практичного застосування в інженерних розрахунках використовують, як правило, механічні характеристики саме умовної діаграми напружень.

Основні механічні характеристики міцності:

- 1) границя пропорційності σ_{nu} – найбільше напруження, до якого виконується закон Гука

$$\sigma_{ny} = \frac{F_{ny}}{A_0} . \quad (1.7)$$

З урахуванням співвідношень (1.4), (1.5), (1.6) закон Гука можна представити також у вигляді лінійної залежності

$$\sigma = E \cdot \varepsilon . \quad (1.8)$$

Очевидно, що модуль пружності першого роду E являє собою коефіцієнт пропорційності в формулі (1.8) і має розмірність напруження. Величина E дорівнює тангенсу кута між віссю ε і прямою OA діаграми напружень (рис. 1.6)

$$E = \operatorname{tg} \alpha . \quad (1.9)$$

Модуль пружності за розтягування дорівнює тангенсу кута нахилу до осі абсцис прямолінійної ділянки діаграми розтягу, побудованої в координатах $\sigma - \varepsilon$.

Чисельні значення модуля пружності першого роду для матеріалів, що найбільш часто використовуються в техніці, наведено в Додатку А. Границя пропорційності, є умовною характеристикою, оскільки її визначення залежить від ступеня наближення, з яким ділянку OA можна розглядати, як пряму. За стандартом [2] *умовною границею пропорційності* вважається напруження в тій точці експериментальної діаграми напружень, при якому значення похідної $\frac{d\varepsilon}{d\sigma}$ перебільшує величину $\operatorname{ctg} \alpha$ на 50 %.

2) границя пружності σ_{np} (точка B на рис. 1.6) – *найбільше умовне напруження*, за якого з обумовленим відхиленням зберігається пружність матеріалу у разі деформування зразка, тобто матеріал не отримує остаточних деформацій [2]

$$\sigma_{np} = \frac{F_{np}}{A_0} . \quad (1.10)$$

Границя пружності є характеристикою, не пов'язаною із законом Гука. Її значення може бути як більшим, так і меншим границі пропорційності в точці A . Ці значення є дуже близькими, тому, як правило, різницею між ними нехтують.

Оскільки пластичні деформації в окремих кристалах матеріалу з'являються вже в початковий період навантаження, то границя пружності, як і границя пропорційності, також залежить від вибраної точності і є умовною. Зазвичай, остаточну деформацію для границі пружності, вибирають в межах від 0,01% до 0,05%. Умовну границю пружності для такого критерію позначають, як $\sigma_{0,01}$ та $\sigma_{0,05}$.

З огляду на вищезазначені особливості умовні границі пружності та текучості не наводять у довідкових даних за властивостями матеріалів.

3) границя текучості або границя плинності σ_T – напруження, за якого зразок починає деформуватись без помітного збільшення навантаження

$$\sigma_T = \frac{F_T}{A_0}. \quad (1.11)$$

Границя текучості є *основною механічною характеристикою* для оцінювання міцності пластичних матеріалів (сталей).

Якщо на діаграмі напружень ділянка текучості відсутня, замість σ_T використовується умовне напруження $\sigma_{0,2}$, що відповідає напруженню, при якому залишкова відносна деформація у матеріалі $\epsilon_{зал}$ становить 0,2%. Іноді встановлюється інший критерій: $\epsilon_{зал} = 0,5\%$, для якого умовне напруження позначається, як $\sigma_{0,5}$.

Для визначення, наприклад, величини $\sigma_{0,2}$ на діаграмі розтягу слід відкласти по горизонтальній осі ϵ деформацію 0,2% і з точки O' провести пряму $O'A'$ (на рис.1.7 показана пунктирною лінією), паралельну до початкової прямої ділянки OA .

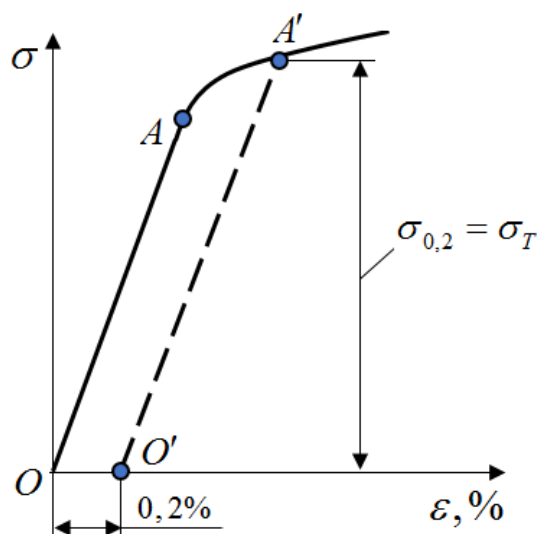


Рисунок 1.7 – Визначення умовної границі текучості $\sigma_{0,2}$

4) *границя міцності або тимчасовий опір руйнуванню* σ_B – умовне механічне напруження, що відповідає максимальній силі, яка досягається в процесі деформування зразка матеріалу при розтягуванні

$$\sigma_B = \frac{F_{\max}}{A_0}. \quad (1.12)$$

Важливо зазначити, що σ_B не є напруженням, при якому руйнується матеріал зразка. Якщо віднести розтягуючу силу не до початкової, а до найменшої площі перерізу зразка в момент розриву, то дійсне напруження руйнування $\sigma_K^{\text{дійсн.}}$ буде суттєво більшим, ніж σ_B . Отже, границя міцності, як і границі пружності, також є умовною величиною. З огляду на простоту її визначення границя міцності широко застосовується в розрахунковій практиці, як базова порівняльна одиниця. Для деяких композитних матеріалів – високоміцних ниток та ниткоподібних кристалів границя міцності разом з модулем Юнга та щільністю є основною характеристикою.

При випробуванні матеріалу на розтяг визначаються також характеристики пластичності, до яких належать:

1) *відносне видовження після розриву* $\delta, \%$ – відношення залишкового видовження зразка за розтягування, досягнутого на момент його розриву, до початкової розрахункової довжини зразка [2]

$$\delta = \frac{\Delta l_0}{l_0} \cdot 100\%, \quad (1.13)$$

де Δl_0 – залишкове абсолютне видовження, $\Delta l_0 = \Delta l_{\text{зал}}$ (рис.1.4).

Маловуглецеві сталі марок Ст.2, Ст.3 мають $\delta \geq 25\%$.

2) *відносне звуження зразка* $\psi, \%$ – відношення зменшення площі поперечного перерізу в місці розриву зразка до початкової площі його поперечного перерізу [2]

$$\psi = \frac{\Delta A}{A_0} \cdot 100\% = \frac{A_0 - A_K}{A_0} \cdot 100\%, \quad (1.14)$$

де A_K – площа перерізу зразка в шийці на момент руйнування.

Чисельні значення δ та ψ дозволяють робити висновки про ступінь пластичності матеріалу.

Величина ψ змінюється в межах від декількох відсотків для крихкої високовуглецевої сталі до 60% для низьковуглецевої сталі.

Матеріал вважається пластичним, коли залишкове видовження після розриву $\delta > 5\%$. За умови $\delta < 5\%$ матеріал вважається крихким.

Як діаграми розтягу, так і механічні характеристики для різних матеріалів можуть суттєво відрізнятися (Додаток А).

Для опису жорсткості матеріалу в непружній області діаграми розтягання використовується *січний модуль Юнга*. Передусім, це стосується крихких та квазіпластичних матеріалів, де ділянка пропорційності майже відсутня. Січний модуль визначається для кожної точки діаграми розтягу з вибраним напруженням (рис. 1.8). Зазвичай січний модуль Юнга позначається, як E_s .

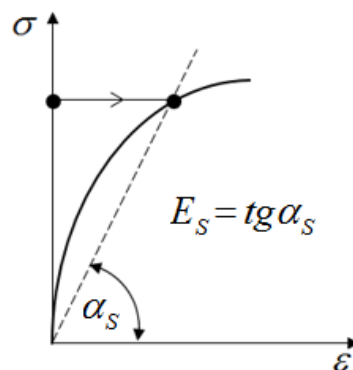


Рисунок 1.8 – Визначення січного модуля Юнга

Діаграма розтягу крихких матеріалів не має ділянок текучості та зміцнення (рис.1.9). Відхилення від закону Гука тут починається з малих значень навантаження F . Зразки руйнуються при незначній залишковій деформації без утворення шийки.

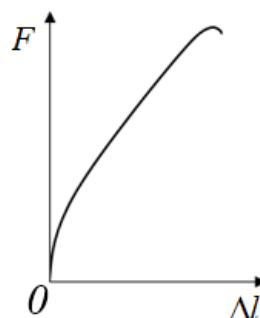


Рисунок 1.9 – Діаграма розтягу крихких матеріалів

1.2 Виконання роботи

Підготовка до виконання лабораторної роботи передбачає засвоєння здобувачем відповідного теоретичного матеріалу, наведеного в п. 1.1.

Послідовність виконання лабораторної роботи [3]:

1. Перед випробуванням зразка на розтягування слід виміряти за допомогою штангенциркуля діаметр зразка d_0 та нанести позначки на поверхні зразка через 10 мм базової довжини l_0 .

2. Закріпити зразок у випробувальній розривній машині.

3. Увімкнути машину і спостерігати за процесом розтягування зразка до його повного руйнування.

4. Стулити обидві частини розірваного зразка та виміряти діаметр перерізу в місці утворення шийки d_K , а також довжину його розрахункової частини l_K .

5. Виконати обробку машинної діаграми розтягу, отриманої за допомогою механічного двокоординатного самописця, а саме: визначити з діаграми зусилля F_T , F_{nu} , F_{max} , F_K та відповідні видовження.


6. Розрахувати механічні характеристики міцності й пластичності та побудувати діаграму напружень.

7. Ескізи зразка до і після руйнування та результати розрахунків занести до протоколу (Додаток Б). В протоколі також має бути зазначено мету роботи та висновки по роботі.

8. Титульний лист лабораторної роботи (Додаток Д) та протокол виконання завантажити в платформу Moodle.

1.3 Питання для самоперевірки

1. Які зразки використовують для випробувань на розтяг?
2. Що таке пружна та пластична деформації?
3. Назвіть характерні точки на діаграмі розтягу?
4. На якій ділянці виконується закон Гука? Що визначає закон Гука?
5. Яку властивість матеріалу описує модуль Юнга?
6. Чим характерна ділянка текучості?
7. У яких матеріалів на діаграмі розтягу спостерігається ділянка текучості?
8. Що таке умовна границя текучості?
9. У чому полягає явище наклепу?
10. Який зв'язок має ϵ між діаграмою розтягу та діаграмою напружень?
11. Що таке границя пропорційності, пружності, текучості, міцності та як вони обчислюються?
12. Яка різниця між умовною і дійсною діаграмами напружень?

- 
13. В яких одиницях вимірюються напруження?
 14. В якій точці діаграми розтягу на зразку починає утворюватися шийка?
 15. Як змінюються величини навантаження та напруження після утворення шийки?
 16. Які напруження характеризують міцність сталі?
 17. Що характеризує пластичність сталі?

1.4 Перелік рекомендованих джерел

1. ДСТУ ISO 6892-1:2019. Металеві матеріали. Випробування на розтяг. Частина 1. Метод випробування за кімнатної температури. [Чинний від: 2020-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 2020. 75 с.
2. ДСТУ 2825-94. Розрахунки та випробування на міцність. Терміни та визначення основних понять. [Чинний від: 1996-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 1996. 42 с.
3. Андрушков В. І., Гуртовий О. Г., Тинчук С. О. Опір матеріалів. Лабораторні роботи : навч. посіб. Рівне : НУВГП. 2022.130 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

Випробування на стиск чавуну та деревини

2.1 Теоретичні відомості

При випробуванні на стиск та на розтяг, пластичні та крихкі матеріали поведуть себе по-різному.

Так, при стисканні низьковуглецевої сталі (рис. 2.1), матеріал може сильно деформуватися, але його руйнування не відбувається.

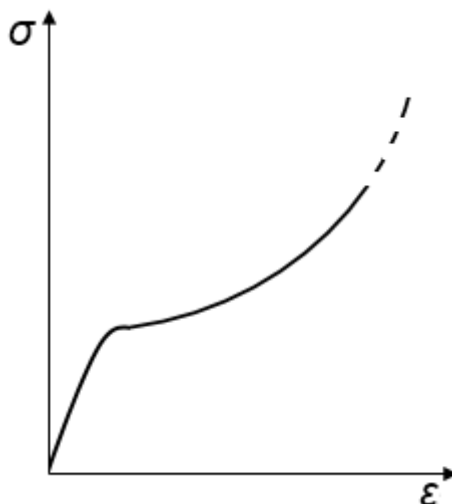


Рисунок 2.1 – Діаграма стискання низьковуглецевої сталі

Основні механічні характеристики, як границя пропорційності, границя пружності, границя текучості та модуль Юнга, що отримані при випробуванні на стиск, несуттєво відрізняються від тих, що отримані при випробуванні на розтяг. Границю міцності та характеристики пластичності при стисканні визначити неможливо, оскільки матеріал зразка не руйнується.

З огляду на вищезазначене вважається, що пластичні матеріали однаково працюють на розтяг і на стиск. Тому їх випробування на стиск не проводять, а в інженерних розрахунках використовують характеристики міцності, отримані при випробуванні на розтяг.

Зовсім інакше при випробуванні на розтяг та на стиск поведуть себе крихкі матеріали. Границя міцності при випробуванні на стиск у крихких матеріалів в декілька разів перевищує границю міцності на розтяг. З цієї причини крихкі матеріали зазвичай використовують для виготовлення тих елементів конструкцій, що зазнають деформації стиску. Тому для крихких матеріалів основним видом випробувань є випробування на одновісний стиск.

Діаграма випробувань на стиск крихкого матеріалу має вигляд залежності абсолютної деформації Δh від осьового навантаження F (рис. 2.2).

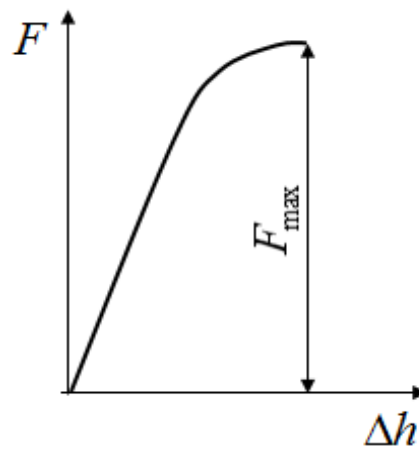


Рисунок 2.2 – Діаграма випробувань на стиск крихкого матеріалу

Зразки для випробувань на стиск виготовляють з круглим або квадратним поперечним перерізом відповідно до вимог стандарту ДСТУ 2824-94 [1]. Для зменшення вірогідності згину зразків циліндричної форми відношення висоти зразка до його діаметра приймають в межах $1 \leq h_0/d_0 \leq 3$ (рис.2.3, а).

В даній лабораторній роботі визначається границя міцності циліндричного зразка, виготовленого із сірого чавуна. Випробування на стиск проводиться на універсальній випробувальній машині моделі Р-10, що забезпечує максимальне зусилля стискання 100 кН.

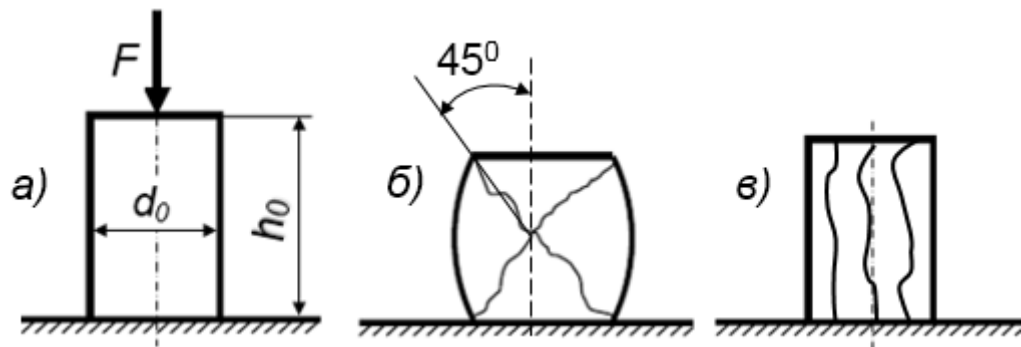



Рисунок 2.3 – Чавунний зразок до навантаження і після руйнування

Характер руйнування зразків при випробуваннях на стиск, окрім рівня крихкості матеріалу, залежить від величини контактних сил тертя, що виникають на торцевих поверхнях зразка і спрямовані в радіальних напрямках до його осі [2].

При значних силах тертя руйнування спостерігається шляхом зрізу (рис. 2.3, б) внаслідок збігу площини зсуву кристалів з площиною найбільших дотичних напружень. Тріщини руйнування, що з'являються на поверхні зразка, орієнтовані під кутом близьким 45% до його осі. Зразок після руйнування набуває бочкоподібної форми, що можна пояснити створенням неоднорідного напруженого стану в тілі зразка.



Висота зразка після руйнування дещо зменшується порівняно з початковою, що є ознакою наявності залишкових пластичних деформацій.

Для часткового зменшення сил тертя між торцевими поверхнями зразка та опорними плитами машини вводять мастильні матеріали, як парафін, солідол тощо. У випадку суттєвого зменшення сил тертя спостерігається *руйнування відривом* зі збереженням циліндричної форми зразка (рис. 2.3, в). Слід зазначити, що абсолютне усунення сил тертя з метою забезпечення лінійного напруженого стану не видається можливим.

При проведенні випробування на стиск визначається тільки одне зусилля F_{\max} – максимальне зусилля перед руйнуванням.

Границя міцності при стисканні визначається за формулою:

$$\sigma_B = \frac{F_{\max}}{A_0}, \quad (2.1)$$

де A_0 – початкова площа перерізу зразка.

Крихкі матеріали, на відміну від пластичних, руйнуються при незначних залишкових деформаціях. Для крихких матеріалів величина остаточного видовження при випробуванні на розрив здебільшого становить 2...5%, а для таких матеріалів, як чавун, високовуглецева сталь, камінь, скло, бетон вимірюється долями відсотка. Характерно, що при руйнуванні стиском навантажувальна здатність крихких матеріалів падає практично миттєво.

Разом з *ізотропними* матеріалами, як сталь, чавун, кольорові метали та ін., що мають однакові властивості незалежно від вибраного напрямку, в техніці та на виробництві широко застосовують також *анізотропні* матеріали. До них відносять матеріали, волокна яких орієнтовані в певних напрямках : деревина, фанера, полімерні та композитні матеріали з одно-, дво- та тривісним армуванням.

Характерним представником *анізотропних неоднорідних* матеріалів є деревина. Залежно від напрямку навантаження відносно волокон деревини розрізняють три напрямки *анізотропії*: 1) вздовж волокон; 2) поперек волокон в радіальному напрямку; 3) поперек волокон в тангенціальному напрямку (дотично до річних кілець).

Для випробування деревини на стиск вибирають зразки у вигляді прямокутних кубічних призм (рис. 2.4).

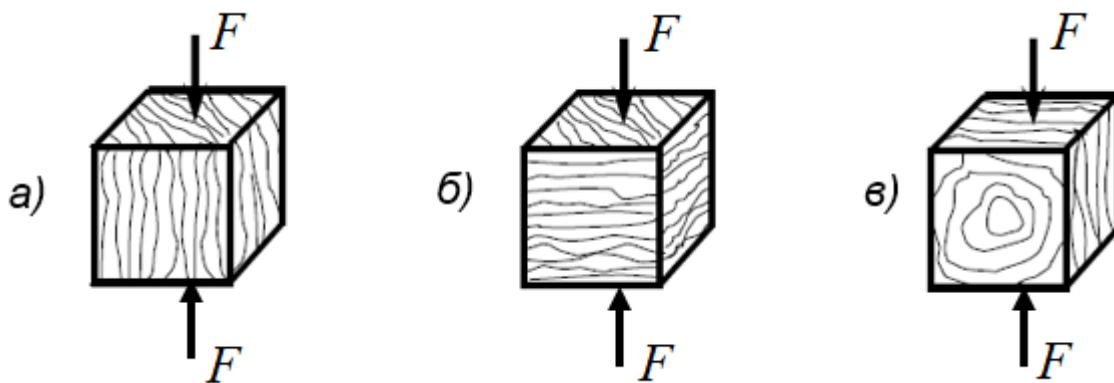


Рисунок 2.4 – Дерев'яні зразки для випробування на стиск:
 а) – уздовж волокон; б) – упоперек волокон (радіальний напрямок);
 в) – упоперек волокон (тангенціальний напрямок)

Діаграма $F-\Delta l$ стискання зразка уздовж волокон (рис. 2.5) зовні схожа на діаграму стиску чавуну. Дерев'яний зразок, що випробується на стиск уздовж волокон, до руйнування зазнає порівняно невеликих пластичних деформацій.

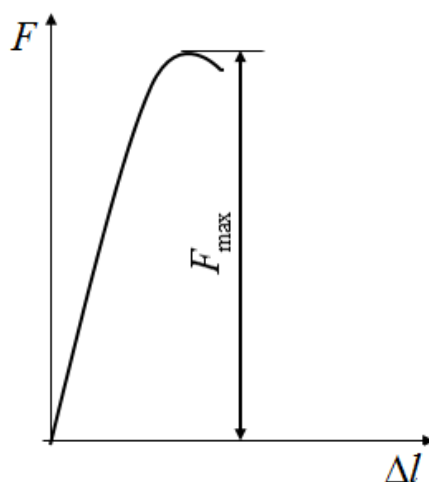


Рисунок 2.5 – Діаграма стиску зразка уздовж волокон

Границя міцності деревини на стискання вздовж волокон визначається за аналогічною формулою для границі міцності крихких матеріалів.

Діаграму стискання зразка *упоперек волокон* (радіальний напрямок) наведено на рис. 2.6. Оскільки на ділянці OA залежність між силою та деформацією є близькою до лінійної, можна вважати, що тут виконується закон Гука. Після точки A деформація починає швидко збільшуватися при несуттєвому збільшенні сили. Значне ущільнення деревини без явних ознак руйнування показує, що міцність зразка вичерпана. Руйнівною силою F_{\max}

(точка С) вважається таке навантаження, при якому абсолютна деформація зразка становитиме одну третину від його початкової висоти [3].

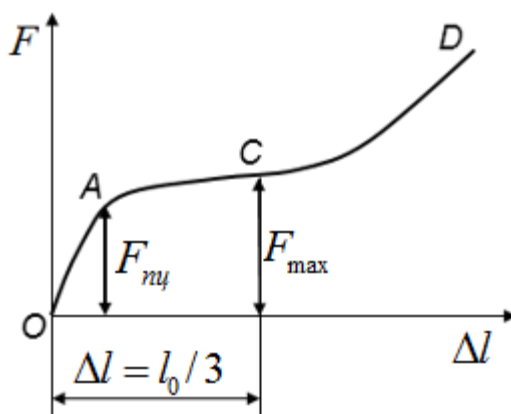


Рисунок 2.6 – Діаграма стиску зразка упоперек волокон (радіальний напрямок)

Властивості деревини в радіальному та в тангенціальному напрямках несуттєво відрізняються між собою. Тому для отримання механічних характеристик деревини упоперек волокон достатньо одного випробування для будь-якого з цих напрямків.

За результатами випробувань поперек волокон визначаються:

– границя пропорційності σ_{nc} (може бути розрахована за наявності машинної діаграми стиску):

$$\sigma_{nc} = \frac{F_{nc}}{A_0}; \quad (2.2)$$


– границя міцності:

$$\sigma'_B = \frac{F_{max}}{A_0}, \quad (2.3)$$

де A_0 – початкова площа перерізу дерев'яного зразка.

2.2 Виконання роботи

Підготовка до виконання лабораторної роботи передбачає засвоєння здобувачем відповідного теоретичного матеріалу, наведеного в п. 2.1.




Послідовність виконання лабораторної роботи [3]:

1. Перед випробуванням зразків на стискання слід виміряти за допомогою штангенциркуля діаметр чавунного зразка d_0 та поперечні розміри дерев'яних зразків.
2. Закріпити чавунний зразок у випробувальній машині.
3. Увімкнути машину і спостерігати за процесом стискання зразка до його повного руйнування.
4. За показанням сило вимірювача випробувальної машини визначити F_{\max} – максимальне зусилля перед руйнуванням зразка.
5. Розрахувати границю міцності чавуну при стисканні.
6. Провести випробування дерев'яних зразків на стиск, орієнтуючи їх волокна уздовж та упоперек до напрямку дії сили.
7. Визначити за показаннями сило вимірювача величини руйнівних зусиль F_{\max} для кожного випробування дерев'яних зразків.
8. Визначити границі міцності деревини при стисканні уздовж та упоперек волокон.
9. Ескізи чавунного та дерев'яних зразків до і після руйнування та результати розрахунків занести до протокола (Додаток В). В протоколі також має бути зазначено мету роботи та висновки по роботі.
10. Титульний лист лабораторної роботи (Додаток Д) та протокол виконання завантажити в платформу Moodle.

2.3 Питання для самоперевірки

1. За якими ознаками матеріали розподіляються на крихкі та пластичні?
2. Які механічні характеристики можна визначити при стисканні пластичних матеріалів?
3. Які характерні відмінності діаграм стиску пластичних та крихких матеріалів?
4. Як руйнується крихкий матеріал?
5. Які характеристики міцності крихких матеріалів використовують в інженерних розрахунках?
6. Зразки якої форми використовуються для випробування на стиск?
7. Який вплив на результати випробувань при стисканні має тертя по торцях чавунного зразка?
8. За яких умов відбувається руйнування чавунного зразка шляхом зрізу?
9. За яких умов відбувається руйнування чавунного зразка шляхом відриву?
10. Які матеріали називають анізотропними?
11. Скільки напрямків анізотропії має деревина?



12. Як визначається границя міцності деревини поперек волокон?

2.4 Перелік рекомендованих джерел

1. ДСТУ 2824-94. Розрахунки та випробування на міцність. Види і методи механічних випробувань. [Чинний від: 1996-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 1996. 31 с.

2. Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів. Лабораторний практикум : навч. посіб. для студ. спеціальності 132 «Матеріалознавство», освітньої програми «Металофізичні процеси та їх комп'ютерне моделювання» / уклад.: В. В. Холявко, І. А. Владимирський. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 116 с.

3. Андрушков В. І., Гуртовий О. Г., Тинчук С. О. Опір матеріалів. Лабораторні роботи : навч. посіб. Рівне : НУВГП. 2022.130 с.



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

Експериментальне визначення напружень та деформацій при прямому згині сталевій балці

3.1 Теоретичні відомості

Згином бруса (стрижня) називається деформація, що супроводжується зміною кривини його осі. Деформація згину виникає під дією прикладених до бруса сил або пар сил, розміщених у *силовій площині*, поздовжній щодо осі бруса (рис. 3.1).

Стрижень, що працює на згин, називають *балкою*.

Різновиди згину:

чистий згин – в поперечних перерізах балки діють тільки згинальні моменти, а поперечні сили відсутні;

поперечний згин – в поперечних перерізах балки діють одночасно згинальні моменти та поперечні сили;

прямий (плоский) згин – сили, що діють на балку, розташовані в одній з головних центральних площин інерції; деформація осі балки відбувається у площині навантаження;

косий (неплоский) згин – площина дії зовнішніх сил і моментів не збігається ні з однією з головних осей інерції поперечного перерізу балки. Косий згин зазвичай є сукупністю двох прямих згинів.

Прямий і косий згини можуть бути, як чистими, так і поперечними.

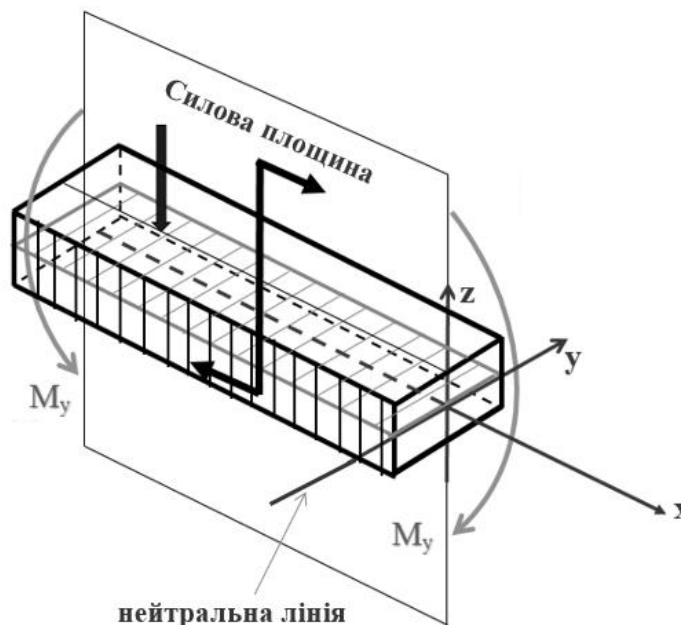


Рисунок 3.1 – Схема дії сил, що спричиняють деформацію згину

Сукупність волокон, що не змінюють своєї довжини при згинанні стрижня називається *нейтральним шаром* (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Деформація при чистому згині

Нейтральний шар перетинається з поперечним перерізом стрижня по прямій, яка називається *нейтральною лінією* (рис. 3.3).

Нормальні напруження $\sigma(z)$ в поперечному перерізі балки при прямому згині визначаються за формулою Нав'є

$$\sigma(z) = \frac{M_y \cdot z}{I_y}, \quad (3.1)$$

де M_y – згинальний момент в перерізі відносно осі y ; z – відстань від нейтральної лінії (вісь y) до точки перерізу в якій визначаються напруження; I_y – осьовий момент інерції перерізу відносно осі y .

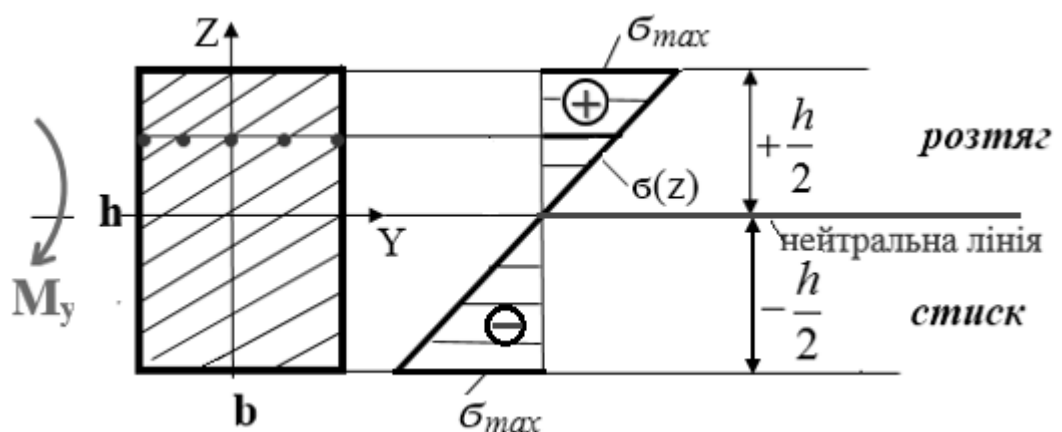


Рисунок 3.3 – Розподіл нормальних напружень при згині балки з прямокутним поперечним перерізом

Максимальні нормальні напруження при прямому згині σ_{\max} виникають в крайніх точках перерізу, найбільш віддалених від осі y на відстань z_{\max} :

$$\sigma_{\max} = \frac{M_y \cdot z_{\max}}{I_y} = \frac{M_y}{\frac{I_y}{z_{\max}}} = \frac{M_y}{W_y}, \quad (3.2)$$

де W_y – осьовий момент опору перерізу.

Для прямокутного перерізу з розмірами b і h

$$I_y = \frac{bh^3}{12}, \quad z_{\max} = \pm \frac{h}{2}, \quad W_y = \frac{bh^2}{2},$$

звідки

$$\sigma_{\max} = \frac{6M_y}{bh^2}. \quad (3.3)$$

Схема експериментальної установки для визначення напружень і деформацій консольної балки наведена на рисунку 3.4.

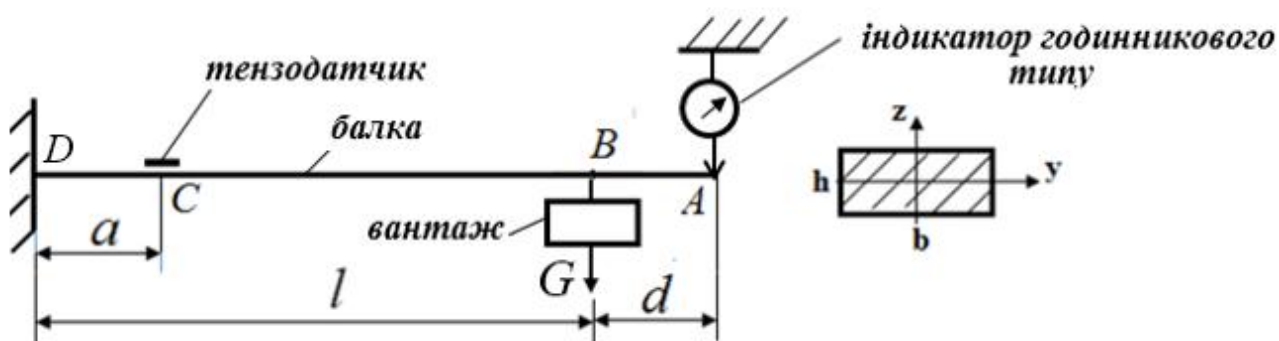


Рисунок 3.4 – Схема експериментальної установки

При дії на балку вантажу G балка зазнає деформації згину. В результаті на ділянці BD у перерізах балки виникають напруження. Згинальний момент, що діє в перерізі C

$$M_{yC} = G(l - a).$$

Отже, у верхніх і нижніх точках цього перерізу діють напруження

$$\sigma_{\max C} = \frac{6 \cdot G(l - a)}{bh^2}. \quad (3.4)$$

Для експериментального визначення деформацій і напружень на сьогодні існують різноманітні методи. Одним із найбільш поширених є метод електротензометрії [1]. Сутність метода полягає у застосуванні датчиків електричного опору – тензорезисторів (резисторних тензодатчиків). Принцип дії тензорезистора заснований на зміні електричного опору провідника при його деформуванні.

Тензодатчик (рис.3.5) являє собою тонкий дрід діаметром 0,012... 0,030 мм, укладений у вигляді декількох петель (решітки) на паперову основу.

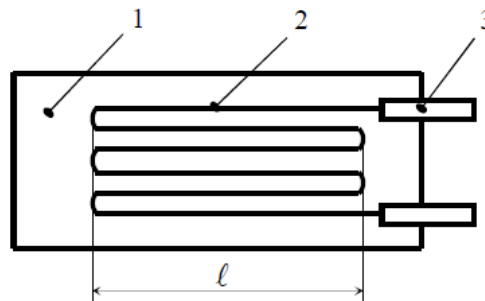


Рисунок 3.5 – Схема тензодатчика: 1 – паперова підкладка; 2 – дротяна решітка; 3 – виводи; l – база датчика

Датчики електричного опору виготовляють із матеріалів, що мають високий питомий опір і низький коефіцієнт температурного розширення (елінвар, константан, ніхром).

Робочий (активний) тензодатчик наклеюється на поверхню випробуваної деталі таким чином, щоб його база була орієнтована в напрямку вимірюваної деформації. При розтягу зразка датчик реагує зменшенням опору, при стисканні – збільшенням. Для підвищення точності при реєстрації зміни опору робочий датчик включається до мостової електричної схеми (рис.3.6). Зміна електричного сигналу передається від датчика через підсилювач на гальванометр. З метою зменшення температурного впливу на результати вимірювання в схему включається ще один (компенсаційний) датчик з такими ж характеристиками, як і робочий. Компенсаційний датчик наклеюється на окрему ненавантажену деталь.

Наведену на рис. 3.6 схему вимірювань покладено, як конструктивну основу для різних моделей спеціальних пристроїв, що призначені для виміру деформацій.

Характерна особливість мостової схеми полягає в тому, що за допомогою реохорду (реостату) R_3 , оснащеного окремою шкалою, можна отримати співвідношення (умову балансу моста)

$$\frac{R_A}{R_K} = \frac{R_1}{R_2}, \quad (3.5)$$

при якому струм в діагоналі моста буде відсутній. Такий підхід дозволяє проводити вимірювання деформацій так званим «нуль-методом», коли при навантаженні міст балансується, а показання знімаються зі шкали реохорда.

Відносна деформація визначається, як величина, що пропорційна зміні омичного опору, за формулою [2]

$$\varepsilon = \frac{\Delta T}{l} \cdot m, \quad (3.6)$$

де m – ціна поділки шкали вимірювача; l – база тензорезистора; ΔT – приріст відліків за шкалою вимірювального приладу.

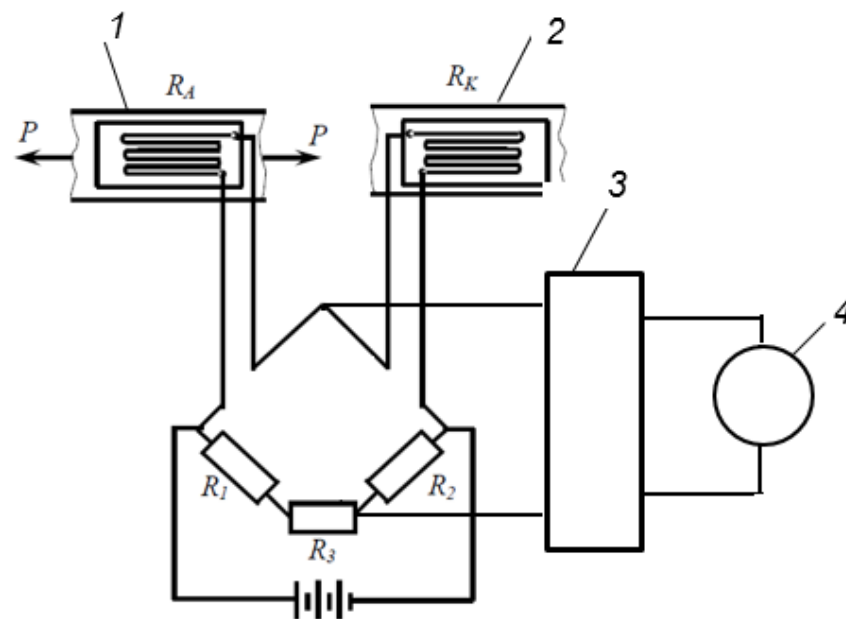


Рисунок 3.6 – Мостова схема виміру деформацій (міст Уїтстона):
1 – активний датчик; 2 – компенсаційний датчик; 3 – підсилювач;
4 – гальванометр

Після визначення відносної деформації ε напруження можна розрахувати за формулою закону Гука

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \quad (3.7)$$

де E – модуль Юнга матеріалу випробуваної деталі.

В другій частині лабораторної роботи визначається вертикальне переміщення перерізу балки в точці А.

Аналітично величину ΔA можна розрахувати за методом Мора:

$$\Delta A_T = \frac{1}{EI} \int_l M_y(x) \bar{M}_{y1}(x) dx, \quad (3.8)$$

де $M_y(x)$ – згинальний момент від зовнішнього навантаження G ;

$\bar{M}_{y1}(x)$ – згинальний момент від одиничної сили, прикладеної в точці А.

Зовнішня і одинична сили розподілять балку на дві ділянки (рис. 3.7).
Ділянка АВ:

$$M_y(x) = 0; \quad \bar{M}_{y1}(x) = 1 \cdot x.$$

Ділянка ВD:

$$M_y(x) = G(x - d); \quad \bar{M}_{y1}(x) = 1 \cdot x.$$

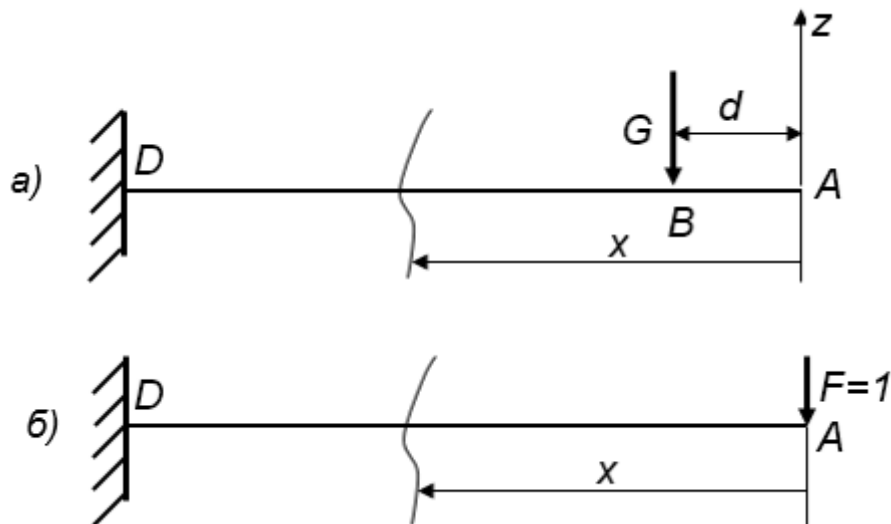


Рисунок 3.7 – Схеми навантаження балки:
а) – зовнішньою силою G ; б) – одиничною силою $F=1$

Після інтегрування отримаємо:

$$\begin{aligned}\Delta A_T &= \frac{1}{EI} \int_0^d M_y(x) \bar{M}_{y1}(x) dx + \frac{1}{EI} \int_d^l M_y(x) \bar{M}_{y1} dx = \frac{1}{EI} \int_0^d 0 \cdot \bar{M}_{y1}(x) dx + \\ &+ \frac{1}{EI} \int_d^l G(x-d) \cdot 1 \cdot x dx = \frac{G}{6EI} [(l+d)^2(2l-d) + d^3].\end{aligned}\quad (3.9)$$

Для експериментального визначення переміщення ΔA використовується стрілковий індикатор годинникового типу (рис.3.8).



Рисунок 3.8 – Стрілковий індикатор годинникового типу

При вимірюваннях індикатор закріплюється у нерухомому штативі і наконечником вимірювального стрижня спирається на поверхню балки, переміщення якої потрібно виміряти (рис. 3.4).

3.2 Виконання роботи

Підготовка до виконання лабораторної роботи передбачає засвоєння здобувачем відповідного теоретичного матеріалу, наведеного в п. 3.1.

Послідовність виконання лабораторної роботи:

1. Визначити поперечні розміри консольної балки, її довжину та положення наклеєного на ній тензодатчика.
2. Закріпити на штативі індикатор годинникового типу, контролюючи контакт його наконечника з поверхнею балки, і встановити стрілку індикатора в нульове положення.
3. Увімкнути прилад для вимірювання деформацій.

4. Обертанням ручки шкали реохорда виставити стрілку гальванометра на нуль.

5. Записати покази шкали реохорда T_1 .

6. Навантажити балку за допомогою гирьового підвісу.

7. Обертанням ручки шкали реохорда знову виставити стрілку гальванометра на нуль.

8. Записати покази шкали реохорда T_2 та індикатора ΔA .

9. Розвантажити балку.

Пункти 4-9 виконати три рази.

10. Результати вимірювань занести до протоколу (Додаток Г) та розрахувати середні значення експериментальних результатів.

11. Обчислити теоретичні значення для напружень і переміщень та порівняти їх з експериментальними.

В протоколі також має бути зазначено мету роботи та висновки по роботі.

Титульний лист лабораторної роботи (Додаток Д) та протокол виконання завантажити в платформу Moodle.

3.3 Питання для самоперевірки

1. У чому полягає суть методу електротензометрії?

2. Що уявляє собою тензорезистор?

3. Для чого тензодатчик включається до мостової електричної схеми?

4. Для чого при вимірі деформацій застосовується компенсаційний датчик?

5. За допомогою якого пристрою фіксуються деформації?

6. Що означає вимірювання деформацій «нуль-методом»?

7. За якою формулою визначаються теоретичні напруження при плоскому згинанні консольної балки?

8. Який аналітичний метод застосовано для розрахунку переміщення перерізу балки?

3.4 Перелік рекомендованих джерел

1. Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів. Лабораторний практикум : навч. посіб. для студ. спеціальності 132 «Матеріалознавство», освітньої програми «Металофізичні процеси та їх комп'ютерне моделювання» / уклад.: В. В. Холявко, І. А. Владимирський. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 116 с.

2. Андрушков В. І., Гуртовий О. Г., Тинчук С. О. Опір матеріалів. Лабораторні роботи : навч. посіб. Рівне : НУВГП. 2022. 130 с.

Механічні характеристики матеріалів

Таблиця 1 – Механічні характеристики конструктивних сталей

Марка сталі	σ_s	σ_T	T_T	Відносне видовження δ , %, при $l=10d$
	МПа, не менше			
10	340	210	140	31
20	420	250	160	25
25	460	280	-	23
30	500	300	170	21
35	540	320	190	20
40	580	340	-	19
45	610	360	220	16
50	640	380	-	14
55	660	390	-	13
60	690	410	-	12
20Г	460	280	-	24
30Г	550	320	-	20
50Г	660	400	-	13
20Х	800	650	-	11
40Х	1000	800	-	10
45Х	1050	850	-	9
30ХМ	950	750	-	11
35ХМ	1000	850	-	12
40ХН	1000	800	390	11
50ХН	1100	900	-	9
40ХФА	900	750	-	10
38ХМЮА	1000	850	-	14
12ХН3А	950	700	400	11
20ХН3А	950	750	-	12
30ХН3А	1000	800	-	10
40ХНМА	1000	950	-	12
30ХГСА	1100	850	-	10

Приблизна відповідність марок: Ст3 відповідає сталі 20; Ст4 відповідає сталі 25; Ст5 відповідає сталі 35; Ст6 відповідає сталі 45.

Таблиця 2 – Механічні характеристики чавуну

Марка чавуну	Границя міцності, МПа		Твердість по Бринелю, НВ
	розтяг $\sigma_{B.p.}$	стиск $\sigma_{B.c.}$	
СЧ 12	120	500	143...229
СЧ 15	150	650	163...229
СЧ 18	180	700	170...229
СЧ 21	210	750	171...241
СЧ 24	240	850	187...217
СЧ 28	280	1000	170...241
СЧ 32	320	1100	187...255
СЧ 35	350	1200	197...269
СЧ 38	380	1400	207...269
ВЧ 40-10	400	1600-1700	156...197
ВЧ 50-1,5	500	1860-2000	187...255
ВЧ 60-2	600	2040-2290	197...269

Таблиця 3 – Модулі Юнга деяких матеріалів

Матеріал	Модуль пружності першого роду (модуль Юнга), МПа
Чавун	$(1,15...1,60) \cdot 10^5$
Сталь вуглецева	$(2,0...2,1) \cdot 10^5$
Сталь легована	$(2,1...2,2) \cdot 10^5$
Алюміній	$(0,69...0,71) \cdot 10^5$
Цинк	$0,84 \cdot 10^5$
Бронза	$(1,05...1,15) \cdot 10^5$
Латунь	$(0,91...1,0) \cdot 10^5$
Мідь	$(0,84...1,1) \cdot 10^5$
Деревина вздовж волокон	$(0,1...0,12) \cdot 10^5$
Деревина поперек волокон	$(0,005...0,01) \cdot 10^5$
Каучук	$0,00008 \cdot 10^5$

Протокол випробувань
до лабораторної роботи №1

ВИПРОБУВАННЯ НА РОЗТЯГ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ

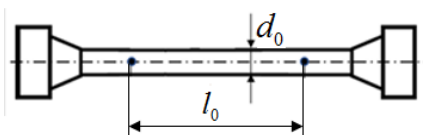
Мета роботи: експериментальне визначення механічних характеристик низьковуглецевої сталі при деформації розтягу.

Обладнання та устаткування:

1. Гідравлічна розривна машина МР-200.
2. Зразки для випробувань.
3. Штангенциркуль.

Ескіз зразка:

до випробувань

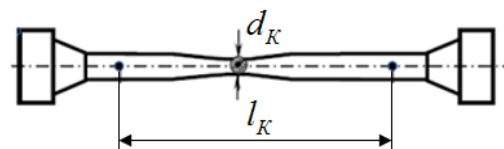


$$d_0 = \dots \text{ мм}$$

$$l_0 = \dots \text{ мм}$$

$$A_0 = \dots \text{ мм}^2$$

після випробувань



$$d_K = \dots \text{ мм}$$

$$l_K = \dots \text{ мм}$$

$$A_K = \dots \text{ мм}^2$$

Результати випробувань

Точки на машинній діаграмі розтягу	Машинна діаграма $F - \Delta l$		Умовна діаграма напружень $\sigma - \varepsilon$	
	$F, \text{ Н}$	$\Delta l, \text{ мм}$	$\sigma = \frac{F}{A_0}, \text{ МПа}$	$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$
Гранична точка ділянки пропорційності	$F_{ny} =$		$\sigma_{ny} =$	
Початкова точка ділянки текучості	$F_T =$		$\sigma_T =$	
Кінцева точка ділянки текучості	$F_T =$		$\sigma_T =$	
Точка максимального зусилля розтягу	$F_{\max} =$		$\sigma_B =$	
Точка зусилля в момент розриву	$F_K =$		$\sigma_K^{\text{умов.}} =$	

Дійсне напруження в момент розриву:

$$\sigma_{\kappa}^{\text{дійсн.}} = \frac{F_{\kappa}}{A_0} = \dots\dots\dots \text{МПа}$$

Характеристики пластичності:

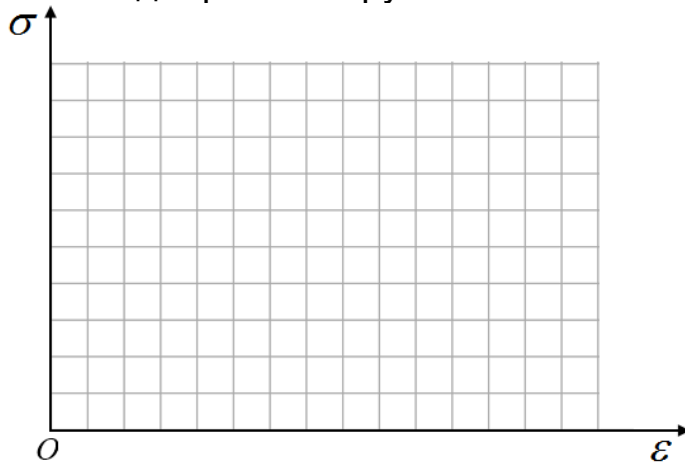
- відносне залишкове видовження

$$\delta = \frac{\Delta l_0}{l_0} \cdot 100\% = \frac{l_{\kappa} - l_0}{l_0} \cdot 100\% = \dots\%;$$

- відносне залишкове звуження

$$\psi = \frac{\Delta A}{A_0} \cdot 100\% = \frac{A_0 - A_{\kappa}}{A_0} \cdot 100\% = \dots\%.$$

Умовна діаграма напружень:



Висновки по роботі.

Слід проаналізувати результати, отримані при випробуванні зразка, та зробити висновки щодо пластичності матеріалу. За таблицями (Додаток А) визначити марку сталі зразка.

Протокол випробувань
до лабораторної роботи №2

ВИПРОБУВАННЯ НА СТИСК ЧАВУНУ ТА ДЕРЕВИНИ

Мета роботи: експериментальне визначення основних механічних характеристик міцності чавуну та деревини при деформації стиску.

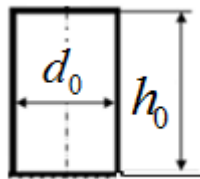
Обладнання та устаткування:

1. Гідравлічна випробувальна машина Р-10.
2. Чавунні зразки для випробувань.
3. Дерев'яні зразки для випробувань (сосна з вологістю 15%) .
4. Штангенциркуль.

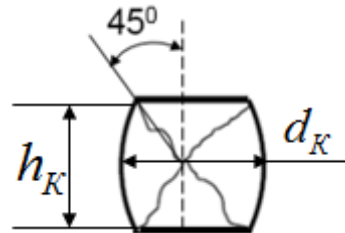
Випробування чавуну

Ескіз зразка:

до випробувань



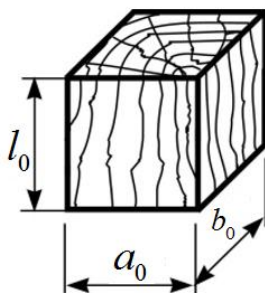
після випробувань



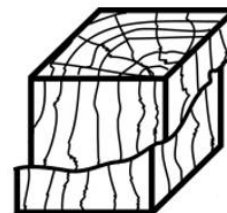
Випробування деревини вздовж волокон

Ескіз зразка:

до випробувань



після випробувань



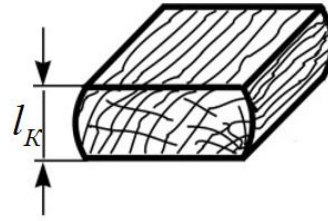
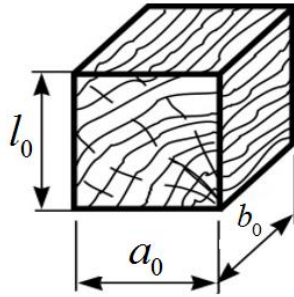


Випробування деревини упоперек волокон

Ескіз зразка:

до випробувань

після випробувань



Результати випробувань

Розміри зразка, мм	Площа поперечного перерізу зразка A_0 , мм ²	Навантаження, що відповідає границі міцності F_{max} , Н	Границя міцності σ_B , МПа
Чавунний зразок			
Діаметр зразка $d_0 = \dots$	$A_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} = \dots$	$\sigma_B = \frac{F_{max}}{A_0} = \dots$
Дерев'яні зразки (сосна)			
Уздовж волокон			
$l_0 = \dots$ $a_0 = \dots$ $b_0 = \dots$	$A_0 = a_0 \cdot b_0 = \dots$	$\sigma_B = \frac{F_{max}}{A_0} = \dots$
Упоперек волокон			
$l_0 = \dots$ $a_0 = \dots$ $b_0 = \dots$ $l_K = \dots$	$A_0 = a_0 \cdot b_0 = \dots$	$\sigma'_B = \frac{F_{max}}{A_0} = \dots$

Коефіцієнт анізотропії деревини: $k = \frac{\sigma_B}{\sigma'_B} = \dots$

Висновки по роботі. За отриманими результатами випробувань слід проаналізувати характер руйнування зразків; зробити порівняння границі міцності чавуну та деревини уздовж та упоперек волокон.

Протокол випробувань до лабораторної роботи №3

Мета роботи: експериментальне визначення нормальних напружень та переміщень, що виникають при згині консольної балки.

Обладнання та устаткування:

1. Лабораторна модель консольної балки СМ-7.
2. Вимірювач деформацій ІД-70.
3. Стрілковий індикатор годинникового типу ИЧ-10.
4. Тензорезистори з базою 10 мм.

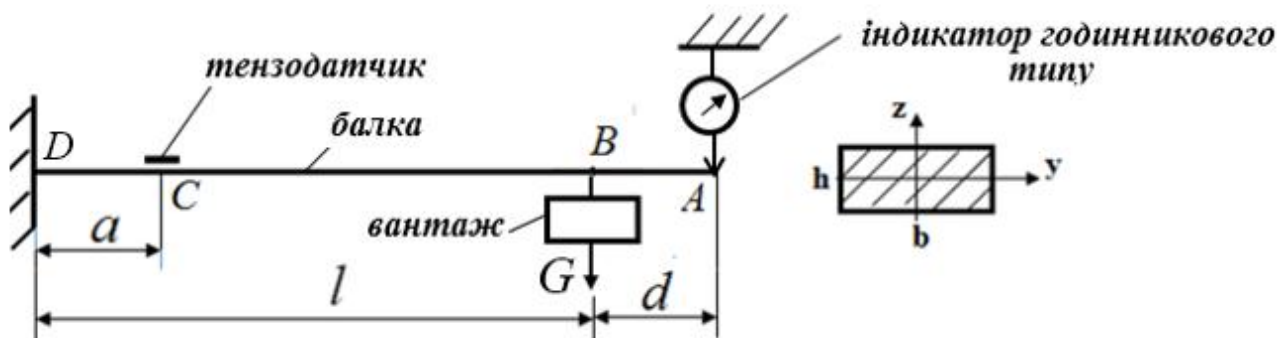


Схема експериментальної установки

$a = 25 \text{ мм}, d = 100 \text{ мм}, l = 400 \text{ мм}.$

$b = 31 \text{ мм}, h = 7 \text{ мм}.$

$G = 20 \text{ Н}.$

Модуль Юнга матеріалу балки: $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Ціна поділки реохорда: $m = \dots\dots\dots$

Осьовий момент інерції перерізу балки:

$$I_y = \frac{bh^3}{12} = \dots\dots\dots \text{мм}^4$$

Момент опору перерізу балки

$$W_y = \frac{bh^2}{6} = \dots\dots\dots \text{мм}^3$$

Визначення напружень			
№ досліду	Покази шкали реохорда вимірювача деформацій	Деформація	Напруження в перерізі С, МПа
1	$T_1 = \dots$ $T_2 = \dots$ $\Delta T_1 = T_2 - T_1 =$	$\varepsilon_1 = \Delta T_1 \cdot \frac{m}{l} = \dots$	$\sigma_{C1} = E \cdot \varepsilon_1 = \dots$
2	$T_1 = \dots$ $T_2 = \dots$ $\Delta T_2 = T_2 - T_1 = \dots$	$\varepsilon_2 = \Delta T_2 \cdot \frac{m}{l} = \dots$	$\sigma_{C2} = E \cdot \varepsilon_2 = \dots$
3	$T_1 = \dots$ $T_2 = \dots$ $\Delta T_3 = T_2 - T_1 = \dots$	$\varepsilon_3 = \Delta T_3 \cdot \frac{m}{l} = \dots$	$\sigma_{C3} = E \cdot \varepsilon_3 = \dots$
Середнє значення напруження в перерізі С за результатами дослідження			$\sigma_C = \frac{\sigma_{C1} + \sigma_{C2} + \sigma_{C3}}{3} =$ $= \dots$
Теоретичне значення напруження в перерізі С			$\sigma_{\max C} = \frac{6 \cdot G(l-a)}{bh^2} = \dots$
Розбіжність між теоретичним та експериментальними значеннями напруження: $\delta = \frac{ \sigma_{\max C} - \sigma_C }{\sigma_C} 100\% = \dots$			
Визначення переміщення ΔA			
№ досліду	Покази шкали індикатора годинникового типу ИЧ-10, мм		
1	$\Delta A_1 = \dots$		
2	$\Delta A_2 = \dots$		
3	$\Delta A_3 = \dots$		
Середнє значення переміщення ΔA за результатами дослідження, мм: $\Delta A = \frac{\Delta A_1 + \Delta A_2 + \Delta A_3}{3} = \dots$			
Теоретичне значення переміщення, мм: $\Delta A_T = \frac{G}{6EI} [(l+d)^2(2l-d) + d^3] = \dots$			
Розбіжність між теоретичним та експериментальними значеннями переміщення точки А: $\delta' = \frac{ \Delta A_T - \Delta A }{\Delta A_T} \cdot 100\% = \dots$			

Висновки по роботі. На підставі порівняльного аналізу теоретичних значень та експериментальних результатів дати оцінку аналітичних методів визначення напружень та деформацій щодо їх практичного застосування.

Приклад титульного листа

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Кафедра «Природничо-наукових та загальноінженерних дисциплін»

Лабораторна робота №...

З навчальної дисципліни «Теоретична та прикладна механіка»»

Тема роботи:

.....

Виконав:
здобувач академічної групи

(шифр групи)

(прізвище та ініціали)

Керівник:
к.т.н., доцент Кайдаш М.Д.

Запоріжжя, 2024



Навчально-методичне видання

**Кайдаш Михайло Дмитрович
Колесников Сергій Олексійович
Ющенко Світлана Михайлівна**

**ТЕОРЕТИЧНА ТА ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА
РОЗДІЛ «ОПІР МАТЕРІАЛІВ»**

методичні вказівки до виконання лабораторних робіт

Самостійне електронне мережеве видання

Публікується в авторській редакції