



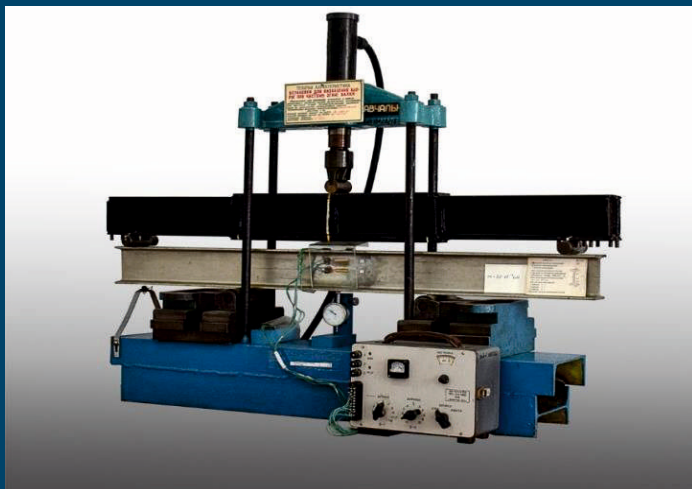
Національний університет
водного господарства
та природокористування

В. І. Андрушков, О. Г. Гуртовий, С. О. Тинчук

ОПІР МАТЕРІАЛІВ

Лабораторні роботи

Навчальний посібник



Рівне - 2022



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства
та природокористування

В. І. Андрушков, О. Г. Гуртовий, С. О. Тинчук

ОПР МАТЕРІАЛІВ

Лабораторні роботи

Навчальний посібник

Рівне - 2022



Рецензенти:

Шваб'юк В. І., доктор технічних наук, професор кафедри прикладної математики та механіки ЛНТУ, м. Луцьк;

Кундрат М. М., доктор технічних наук, професор кафедри мостів і тунелів, опору матеріалів і будівельної механіки НУВГП, м. Рівне;

Гомон С. С., доктор технічних наук, професор кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд НУВГП, м. Рівне.

Рекомендовано вченою радою Національного університету водного господарства та природокористування.

Протокол № 12 від 01 грудня 2021 р.

В. І. Андрушков, О. Г. Гуртовий, С. О. Тинчук

A66 Опір матеріалів. Лабораторні роботи : навч. посіб. [Електронне видання]. – Рівне : НУВГП, 2022. – 130 с.

В посібнику наведено опис випробувальних машин і установок та порядок виконання лабораторних робіт, що охоплюють практично всі основні теми предмету «Опір матеріалів».

Призначено для здобувачів вищої освіти будівельних, механічних та матеріалознавчих спеціальностей, які вивчають навчальні дисципліни: «Опір матеріалів», «Технічна механіка» та «Прикладна механіка».

УДК 539.4/8(075.8)

ISBN 978-966-327-528-4

© В. І. Андрушков, О. Г. Гуртовий,
С. О. Тинчук, 2022

© НУВГП, 2022



З М І С Т

Передмова	5
1. Лабораторна робота № 1 Визначення основних механічних характеристик сталі на розтяг.....	6
2. Лабораторна робота № 2 Експериментальне визначення модуля пружності та коефіцієнта Пуассона сталі при розтягу зразка.....	15
3. Лабораторна робота № 3 Експериментальне вивчення деформацій стиску сталі та чавуну.....	22
4. Лабораторна робота № 4 Експериментальне вивчення деформацій деревини при її стисканні	28
5. Лабораторна робота № 5 Експериментальне вивчення деформацій зсуву сталі та деревини.....	32
6. Лабораторна робота № 6 Кручення сталюого бруса круглого поперечного перерізу.....	37
7. Лабораторна робота № 7 Визначення деформацій гвинтової пружини.....	42
8. Лабораторна робота № 8 Визначення напруг при чистому згині балки.....	45



9. Лабораторна робота № 9

Визначення прогинів та кутів повороту перерізів балки. 50

10. Лабораторна робота № 10

Визначення реакцій опор статично невизначеної балки. 55

11. Лабораторна робота № 11

**Експериментальне дослідження навіскісного згину балки
кутикового профілю..... 59**

12. Лабораторна робота № 12

Дослідне вивчення позацентрального розтягу 63

13. Лабораторна робота № 13

**Дослідження явища втрати стійкості стиснутим
стержнем..... 67**

14. Лабораторна робота № 14

Випробування матеріалів на удар 73

15. Лабораторна робота № 15

Випробування матеріалів на витривалість78

**16. Особливості проведення лабораторних занять
при заочно-дистанційному навчанні студентів..... 83**

ДОДАТОК А

Журнал лабораторних робіт з опору матеріалів..... 87

ДОДАТОК Б

**Сортамент прокатної сталі (двотаври, кутики
рівнополічні)..... 125**

Література 130



П Е Р Е Д М О В А

У науці про опір матеріалів тісно переплітаються результати теоретичних та експериментальних досліджень. Потреба в експериментальних дослідженнях зумовлена наступними причинами:

- всі вихідні положення та гіпотези опору матеріалів ґрунтуються на дослідних даних;
- для виконання розрахунків на міцність, жорсткість, стійкість і витривалість необхідно знати механічні та фізичні властивості конструкційних матеріалів;
- нові теоретичні положення, гіпотези, висновки і формули обов'язково підлягають експериментальній перевірці.

Ефективність лабораторних робіт у значній мірі залежить від якості підготовки до їх виконання.

Підготовку до лабораторного заняття слід починати за кілька днів. При цьому необхідно ретельно ознайомитися з матеріалом, наведеним в навчальному посібнику по даній темі та іншою літературою, рекомендованою викладачем. Особливу увагу звернути на такі питання:

1. Мета виконуваних досліджень.
2. Вихідні передумови досліджень.
3. Методика проведення досліджень.
4. Аналіз отриманих результатів.

Перед початком першого лабораторного заняття з студентами проводиться інструктаж з охорони праці.

Даний посібник покликаний навчити методиці проведення механічних випробувань та методиці експериментальної перевірки теоретичних результатів.

Слід мати на увазі, що на початку кожного лабораторного заняття викладач перевіряє рівень підготовки студента до виконання лабораторної роботи і, переконавшись у його достатності, дає дозвіл на проведення досліджень.

Схеми зразків, дані вимірювань, результати експериментів, висновки заносяться в лабораторний журнал (додаток А).

При написанні навчального посібника було використано матеріали із джерел [1–8].



1. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛІ НА РОЗТЯГ

Мета роботи: вивчити характер деформування сталюого зразка при його розтягуванні аж до моменту руйнування; визначити механічні характеристики міцності, пластичності та в'язкості сталі; за отриманими характеристиками встановити марку досліджуваної сталі.

Зразки, вимірювальні прилади та випробувальні машини

Методи випробування на розтяг стандартизовано.

Для випробування при кімнатній температурі використовуються циліндричні (рис. 1.1) та плоскі (рис. 1.2) зразки.

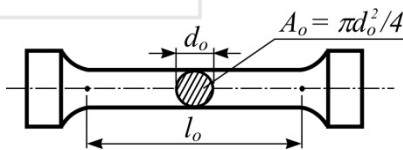


Рис. 1.1. Циліндричний зразок

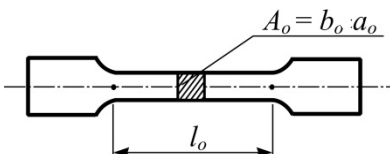


Рис. 1.2. Плоский зразок

Основні розміри зразків:

l_0 – початкова розрахункова довжина, для якої визначається видовження;

d_0 – початковий діаметр перерізу робочої частини циліндричного зразка;

a_0, b_0 – початкова ширина та висота перерізу робочої частини плоского зразка;

A_0 – початкова площа поперечного перерізу робочої частини зразка.

Розрізняють зразки довгі ($l_0 = 10d_0$ – для циліндричних;



$l_o = 11,3\sqrt{A_o}$ – для плоских зразків) та короткі (для них, відповідно, $l_o = 5d_o$ і $l_o = 5,65\sqrt{A_o}$).

Лінійні вимірювання виконуються штангенциркулем (ціна поділки 0,02 мм).

Випробування проводяться на машині УИМ-50 (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Універсальна випробувальна машина УИМ-50

Технічні характеристики випробувальної машини УИМ – 50

Призначена для статичних випробувань матеріалів, деталей та виробів на розтяг, стиск, згин і зсув.

Робоче зусилля створюється гідравлічним тиском.

Максимальний робочий тиск – **235 кГ/см² (23,5 МПа)**.

Максимальне зусилля – **50 тс (500 кН)**.

Граничні значення шкал: **0–5 тс (0–50 кН); 0–10 тс (0–100 кН); 0–25 тс (0–250 кН); 0–50 тс (0–500 кН)**.

Маса установки – **3145 кг**.



Короткі теоретичні відомості

Металеві конструкції працюють під дією статичного навантаження розтягу. Тому для визначення механічних властивостей металів та їхніх сплавів проводять статичні випробування на розтяг зразків стандартизованих розмірів. Цей вид випробувань найбільш поширений ще й з тієї причини, що результати випробувань порівняно легко піддаються аналізу і дозволяють визначити одразу кілька важливих механічних характеристик матеріалу.

Механічні характеристики металів та сплавів при розтязі розділяють на три групи: характеристики міцності, пластичності, в'язкості.

Характеристики міцності

Це характеристики опору матеріалів деформуванню та руйнуванню, представлені величинами напруг. Характеристики міцності визначаються за допомогою діаграми розтягу, що відображає залежність між зусиллям (навантаженням) $N = F$ та абсолютним подовженням зразка Δl (рис. 1.4, а) і яка далі представляється у вигляді діаграми умовних напруг в координатах σ , ε (рис. 1.4, б). Нормальні напруги умовні, оскільки при їх визначенні нехтується зміною поперечних розмірів та площі A поперечного перерізу зразка, тобто $A \approx A_0$, а $\sigma = N/A_0$. Відносна деформація $\varepsilon = \Delta l/l_0$.

За результатами випробування встановлюють такі характеристики міцності:

1. **Границя пропорційності** σ_{pr} (точка 1, рис. 1.4, б).

Границя пропорційності – напруга, до якої практично зберігається пряма пропорційна залежність між напругами σ та деформаціями ε (виконується закон Р. Гука $\sigma = E\varepsilon$):

$$\sigma_{pr} = \frac{F_{pr}}{A_0}. \quad (1.1)$$

2. **Границя пружності** σ_e (точка 1', вище точки 1, рис. 1.4, б).



Границя пружності – напруга, при якій залишкове видовження досягає заданої величини, що, звичайно, не перевищує 0,002%:

$$\sigma_e = \frac{F_e}{A_0}. \quad (1.2)$$

Іноді задають інші значення величин залишкових деформацій (0,01%; 0,05%). В таких випадках границю пружності позначають так: $\sigma_{0,01\%}$, $\sigma_{0,05\%}$ тощо.

Оскільки на діаграмі розрізнити границі пружності та пропорційності дуже важко, то у випадках, коли висока точність не вимагається, границя пружності приймається рівною границі пропорційності.

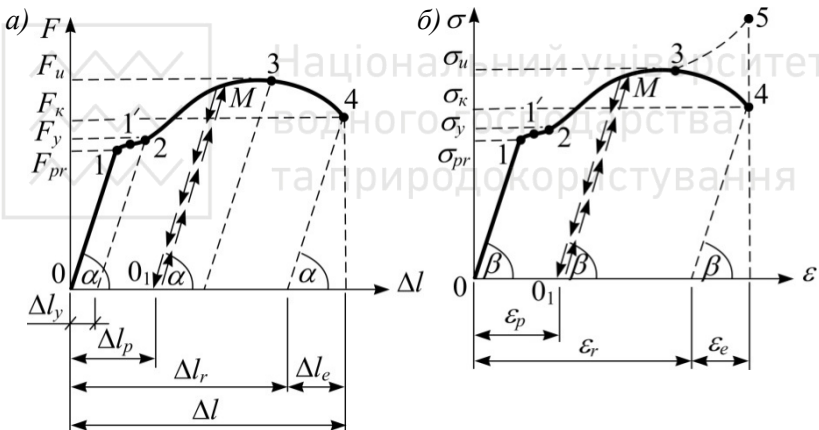


Рис. 1.4. Діаграма розтягу зразка з маловуглецевої сталі

3. Границя текучості σ_y (точка 2, рис.1.4,б).

Границя текучості – напруга, за якої зразок деформується під дією практично незмінного навантаження F_y

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_0}. \quad (1.3)$$

Коли навантаження на зразок наближається до величини



F_y (точка 2 на рис. 1.4, а), подовжня деформація зразка росте швидше, ніж навантаження. Для м'яких сталей характерним є видовження зразка при майже постійному навантаженні. Тоді на діаграмі розтягу з'являється так звана «площадка текучості». Явище яскраво вираженої текучості спостерігається у багатьох конструкційних металів і тому має велике практичне значення (наприклад, при ковці, штампуванні тощо).

Під час деформування в межах площадки текучості зразок покривається характерними лініями Чернова-Людерса. Ці лінії з'являються в результаті виходу на поверхню зразка областей, у середині яких з великою швидкістю відбуваються пластичні деформації. Лінії Чернова-Людерса надають полірованій поверхні зразка матового відтінку і добре проглядаються неозброєним оком.

З фізичної точки зору текучість пояснюється взаємними зсувами в кристалах матеріалу на площинках, які нахилені під кутом 45° до подовжньої осі зразка.

Застосовується також термін „умовна границя текучості” до тих сталей, у яких чітко виражена „площадка текучості” на діаграмі відсутня. Наприклад, умовна границя текучості матеріалу $\sigma_{0,2}$ позначає напругу, за якої залишкове відносне подовження досягає 0,2%.

4. **Границя міцності σ_u** (точка 3 на рис. 1.4, б).

Границя міцності – найбільш умовна напруга, яка виникає в зразку (називають також тимчасовим опором):

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_0}. \quad (1.4)$$

Крива діаграми за точкою 2 (рис. 1.4) піднімається більш полого, ніж на ділянці 0-1. Після того як матеріал зразка пройшов стан текучості, він знову набуває здатності опиратись деформуванню розтягом. Відрізок діаграми 2–3 називають відрізком зміцнення.

При досягненні напругою величини σ_u на зразку з'являється різке місцеве звуження, так звана «шийка» (рис. 1.5).

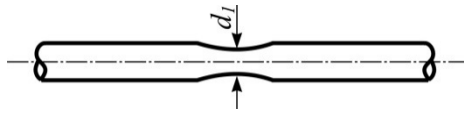


Рис. 1.5. Утворення звуження (шийки) на зразку

Площа поперечного перерізу зразка в шийці швидко зменшується. Навантаження, яке витримує зразок, знижується (відрізок 3–4 на рис. 1.4). Подальше деформування зразка проходить за рахунок подовження в межах шийки. На відрізку діаграми 3–4 всередині шийки утворюються мікротріщини, невидимі зовні. Тріщини ростуть і досягають такої величини, що здатні збільшуватись самостійно при сталому навантаженні. Ріст тріщин завершується розривом зразка (точка 4) в найменшому за площею перерізі шийки. Накопичена у зразку пружна енергія звільняється вибухоподібно. Розрив супроводжується різким звуком та нагріванням зразка.

Площа поперечного перерізу зразка у шийці A_1 на відрізку 3–4 діаграми (рис. 1.4) зменшується швидше, ніж навантаження, тому дійсне значення напруги не зменшується, а невинно зростає. В цьому можна переконатися, порівнявши умовну напругу в момент розриву зразка $\sigma_k = F_k / A_0$ з дійсною напругою в «шийці»:

$$\sigma_d = \frac{F_k}{A_1}. \quad (1.5)$$

Діаграма дійсних напруг матиме відрізок 3–5 на рис. 1.4, б.

Відмітимо деякі зміни в механічних характеристиках матеріалу зразка, які відбуваються, якщо після його навантаження до рівня $F_e < F < F_u$ ($\sigma_e < \sigma < \sigma_u$), тобто до точки M на діаграмі (рис. 1.4), його повністю розвантажити ($F=0$). Процес розвантаження на діаграмі представлено прямою MO_1 , паралельною відрізку 0-1. Зникне пружна частина деформацій, а



пластична деформація Δl_p (чи ε_p) буде незворотною. Якщо цей розвантажений зразок повторно навантажувати, то на діаграмі це зобразиться прямою лінією O_1M , а потім кривою $M-3-4$.

Таким чином, попереднє розтягування за границею текучості $\sigma > \sigma_y$ (до точки M) та наступне розвантаження підвищують границю пропорційності σ_{pr} (до точки M) і зменшується залишкове подовження після розриву, тобто роблять сталь більш міцною і крихкою. Таке явище називається **наклепом** і використовується в металургії при прокаті сталюого листа.

При проектуванні конструкцій залишкові деформації звичайно не допускаються. Отже, напруга не повинна перевищувати границю пружності σ_e . На цій підставі вводиться поняття „допустима напруга” (σ_{adm}), яка визначається за формулами:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_y}{n_y}; \quad \sigma_{adm} = \frac{\sigma_u}{n_u}, \quad (1.6)$$

де $n_y \approx 1,4 \div 1,6$, $n_u \approx 2,4 \div 2,6$ – коефіцієнти запасу міцності, відповідно, за границею текучості σ_y та за границею міцності σ_u .

Характеристики пластичності

Основні характеристики пластичності при випробуванні на розтяг – це: залишкове відносне подовження ε_r та відносне залишкове звуження ψ_r .

До моменту розриву робоча частина зразка l_0 стала довшою на Δl . Після розриву пружна частина Δl_e повної деформації Δl зникає, залишається пластична деформація Δl_r (рис.1.4,а), тобто $\Delta l_r = l_1 - l_0$, де l_1 – довжина розрахункової частини зразка після розриву. Величина Δl_r тим більша, чим більше l_0 і чим більш пластичним є матеріал. Здатність матеріалу зазнавати значної деформації при руйнуванні характеризується залишковим відносним подовженням ε_r .



$$\varepsilon_r = \frac{l_1 - l_0}{l_0} 100\% . \quad (1.7)$$

Відносне залишкове звуження ψ_r знаходиться за формулою:

$$\psi_r = \frac{A_1 - A_0}{A_0} 100\% . \quad (1.8)$$

Величина ψ_r характеризує властивості пластичності більш точно, ніж ε_r , оскільки вона в меншій мірі залежить від форми зразка.

Характеристика в'язкості

Руйнування сталюого зразка вимагає затрат певної енергії (виконання роботи). Великі значення роботи руйнування, що характерні для «м'яких» сталей, зумовлені значними пластичними деформаціями. Робота руйнування W чисельно дорівнює площі між кривою діаграми розтягу та віссю деформацій Δl (рис.1.4,а):

$$W = F_u \Delta l_r \eta , \text{ або } W \approx F_u \Delta l \eta , \quad (1.9)$$

де η – коефіцієнт повноти діаграми (для пружно-пластичної маловуглецевої сталі $\eta = 0,8 \div 0,9$).

В'язкість матеріалу характеризується питомою роботою деформації руйнування a , тобто роботою W , віднесеною до одиниці об'єму робочої частини зразка:

$$a = \frac{W}{V_0} = \frac{W}{A_0 l_0} . \quad (1.10)$$

Чим більша величина a , тим надійніше сприймає матеріал ударне та раптове навантаження.



Послідовність виконання роботи

1. Виміряти штангенциркулем діаметр поперечного перерізу циліндричного зразка d_0 та розрахункову довжину l_0 зразка.
2. Вставити зразок в лещата випробувальної машини.
3. Увімкнути машину і спостерігати за процесом розтягу зразка до його повного руйнування.
4. Стулити обидві частини розірваного зразка і виміряти довжину його розрахункової частини l_1 , а також діаметр поперечного перерізу в місці утворення шийки d_1 .
5. Виконати обробку діаграми розтягу:
 - нанести координатні осі F та Δl і відмітити на діаграмі характерні точки 1, 2, 3, 4 (рис. 1.4);
 - визначити величини навантажень та деформацій, що відповідають характерним точкам, записати їх в журнал (додаток А).
6. Визначити механічні характеристики міцності, пластичності та в'язкості.
7. За знайденими механічними характеристиками встановити марку сталі, з якої виготовлено зразок.

Контрольні запитання

1. Що називається умовною границею текучості та міцності матеріалу? Що називається границею пропорційності матеріалу?
2. Яке явище називають «наклеп»? Де використовують?
3. У чому полягає відмінність між умовною діаграмою розтягу та діаграмою дійсних напруг?
4. Що характеризує питома робота руйнування зразка?
5. Які величини характеризують міцність матеріалу, а які його пластичність? Яка деформація називається пластичною?



2. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ МОДУЛЯ ПРУЖНОСТІ ТА КОЕФІЦІЄНТА ПУАССОНА СТАЛІ ПРИ РОЗТЯГУ ЗРАЗКА

Мета роботи: визначити дослідним шляхом фізичні характеристики матеріалу – модуль пружності E та коефіцієнт поперечної деформації ν (коефіцієнт Пуассона).

Короткі теоретичні відомості

Для багатьох конструкційних матеріалів практикою лабораторних досліджень виявлено, що до певної величини осьового навантаження зразка його абсолютне подовження лінійно залежить від навантаження розтягу, тобто виконується закон Р. Гука (це було встановлено також в лабораторній роботі № 1). На рис. 2.1 зображено прямолінійні відрізки діаграм розтягу для трьох матеріалів – сталі, алюмінію, деревини. Нахил ліній різний. Це означає, що від однакового навантаження подовжні відносні деформації ε дерев'яного зразка будуть набагато більшими, ніж сталюого. Очевидно, що нахил прямої деформування являється мірою жорсткості (схильності до деформування) матеріалу. Чим більший кут нахилу, тим жорсткіший матеріал.

З діаграми (рис. 2.1) видно, що

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_1 &= \frac{\sigma}{\varepsilon_c} = \operatorname{const}_1; \quad \operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{\sigma}{\varepsilon_a} = \operatorname{const}_2; \\ \operatorname{tg} \alpha_3 &= \frac{\sigma}{\varepsilon_d} = \operatorname{const}_3, \end{aligned} \quad (2.1)$$

де ε_c , ε_a , ε_d – відносні деформації, відповідно, сталюого, алюмінієвого та дерев'яного зразків, а напруга $\sigma \leq \sigma_{pr}$.

Ці константи названі модулями пружності (модулями Юнга першого роду) E і за законом Р. Гука становлять:



$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}. \quad (2.2)$$

З формули (2.2) випливає, що модуль пружності E має розмірність напруги σ , оскільки ε – величина безрозмірна. Проте модуль пружності і напруга – два цілком різні поняття: величина напруги залежить від навантаження на зразок та площі його поперечного перерізу, а модуль пружності не залежить від цих параметрів і є фізичною константою матеріалу, що характеризує жорсткість матеріалу.

Геометричний зміст модуля пружності за рис. 2.1 встановлюється виразом:

$$E = \operatorname{tg} \alpha. \quad (2.3)$$

Модуль пружності вважається фундаментальною характеристикою пружних властивостей матеріалів – він широко застосовується в інженерних розрахунках, матеріалознавстві, фізиці.

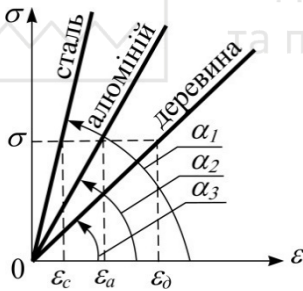


Рис. 2.1. Діаграми розтягу (в межах закону Р. Гука) різних матеріалів

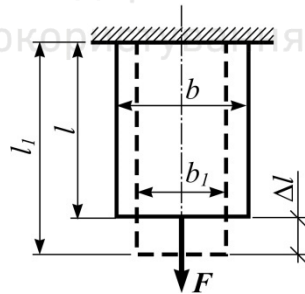


Рис. 2.2. Деформації від розтягу бруса

Другою фізичною сталою величиною, що характеризує пружні властивості матеріалів, є коефіцієнт поперечної деформації ν (коефіцієнт Пуассона). Пружні стержні, як показують досліди (рис. 2.2), під час розтягу (стиску) подовжуються (вкорочуються) на величину Δl , а поперечні



розміри зменшуються (збільшуються) на величину Δb . Відносна поздовжня деформація становить:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}, \quad (2.4)$$

а відносна поперечна деформація становить:

$$\varepsilon' = (b_1 - b)/b = \Delta b/b. \quad (2.5)$$

Коефіцієнтом Пуассона ν називається абсолютне значення від ділення відносної поперечної деформації на відносну поздовжню деформацію:

$$\nu = |\varepsilon'/\varepsilon|. \quad (2.6)$$

Досліди свідчать, що для більшості металів поперечна деформація ε' в 3–4 рази менша від поздовжньої ε . Однак, для деяких матеріалів, за рахунок перерозподілу атомних зв'язків в просторовій решітці речовини, коефіцієнт Пуассона може бути дуже близьким до нуля. Наприклад, для металу берилій $\nu = 0,03$; для алмазу $\nu = 0,07$.

Коефіцієнт Пуассона ν та модуль пружності E є характеристиками пружних властивостей матеріалів. Фізико-механічні властивості ізотропних матеріалів, а отже і E та ν , в усіх напрямках однакові.

У даній лабораторній роботі величини пружних сталей величин визначають шляхом статичних випробувань зразка на розтяг. Для цього необхідно визначити поздовжні ε та поперечні ε' деформації зразка і відповідні їм напруги.

Зразок, вимірвальні прилади, випробувальні машини

Для знаходження модуля пружності та коефіцієнта Пуассона використовується плоский зразок (рис. 2.3). Поперечні розміри зразка вимірюються штангенциркулем з ціною поділки 0,02 мм. Поздовжні та поперечні деформації вимірюють за допомогою механічних або електричних тензометрів T_1 та T_2 .

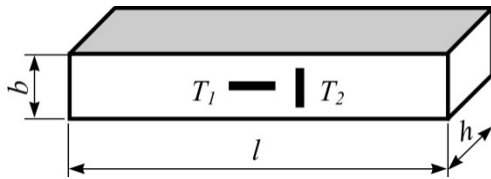


Рис. 2.3. Зразок для досліджень з тензометрами

Розтяг зразка в лабораторії здійснюється випробувальною машиною Р-5, або УМ-5А (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Випробувальна машина УМ-5А

Технічні характеристики випробувальної машини УМ-5А

Призначена для статичних випробувань матеріалів на розтяг. Робоче зусилля створюється механічним приводом (за допомогою електродвигуна або вручну). Максимальне зусилля – 5тс(50кН).

Граничні значення шкал: 1000кгс (10кН); 2000кгс (20кН). Маса машини – 700 кг.

1.Опис роботи механічного тензометра (рис. 2.5)

Механічний (важільний) тензометр спирається на дослідний зразок двома призмами 2 і 3. Призма 2 нерухомо закріплена в корпусі 1, а призма 3 прикріплена до важеля 4, який зв'язаний зі стрілкою 5. Віддаль l між призмами 2 і 3 називається базою тензометра. Вона є розрахунковою довжиною стержня, на якій вимірюються деформації.

Внаслідок деформації зразка призма 3 переміщується на



величину Δl (рис. 2.5). Це переміщення важільною системою передається на стрілку, кінець якої показує на шкалі величину зміщення ΔT .

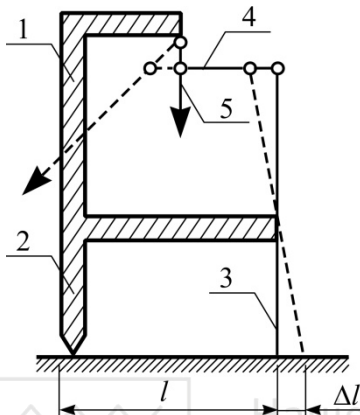


Рис. 2.5. Схеми роботи механічного тензометра

Співвідношення плечей важелів тензометра таке, що коефіцієнт збільшення $\kappa = 1000$; ціна поділки при цьому становить:

$$m = 1/\kappa = 10^{-3} \text{ (мм)}.$$

Таким чином, поздовжня абсолютна деформація $\Delta l_{\text{позд}} = \Delta T_1 m$, а поперечна – $\Delta b_{\text{поп}} = \Delta T_2 m$, де ΔT_1 та ΔT_2 прирости у відліків на шкалі тензометрів, які вимірюють, відповідно, поздовжню та поперечну деформації.

2. Електротензометричне обладнання

В експериментальних дослідженнях широко використовуються електричні тензометри, зокрема, дротяні датчики омичного опору. Ці датчики перетворюють лінійну деформацію зразка у зміну омичного опору провідника.

Датчик являє собою декілька петель тонкого спеціального дроту діаметром $0,025 \pm 0,03$ мм, які наклеєні на смужку паперу (рис. 2.6, а).

Міцно приклеєний до поверхні зразка датчик чутливо реагує на деформацію зразка зміною опору провідника: розтяг зразка (разом з ним і дроту) збільшує опір, а стиск – зменшує його. Зміну опору ΔR_1 дротяного датчика вимірюють спеціальним приладом, у принципі дії якого використано місток Вітстона (рис. 2.6, б).

Відносна деформація ε знаходиться як величина, що пропорційна зміні омичного опору, за формулою:



$$\varepsilon = \frac{\Delta T \cdot m}{l}, \quad (2.7)$$

де m – ціна поділки шкали вимірювача, ΔT – прирощення відліків за шкалою вимірювача, l – база тензометра.

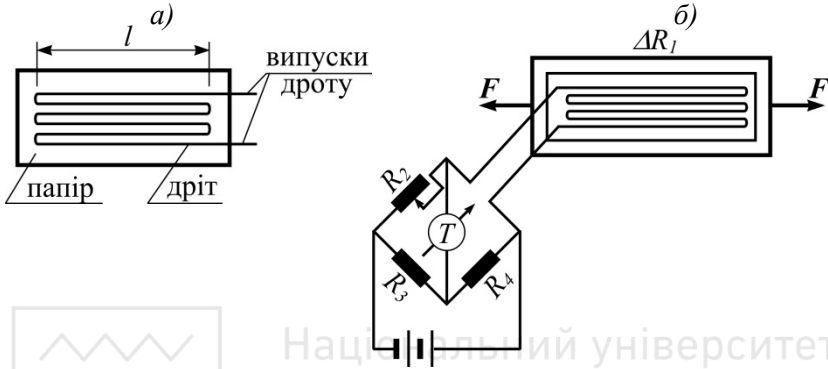


Рис. 2.6. Дротяний датчик (а) та його підключення до містка Уїтстона (б)

Послідовність виконання роботи

1. Виміряти поперечні розміри зразка.
2. Записати в журнал характеристики тензометрів (базу тензометрів l , ціну поділки m).
3. Під навантаженням 10 кН, 20 кН, 30 кН зняти покази поздовжнього T_1 , та поперечного T_2 тензометрів і записати їх у журнал.
4. Обчислити середні значення приростів навантаження ΔF^m напруження $\Delta \sigma^m$, показів тензометра ΔT_1^m та ΔT_2^m .
5. Визначити відносну поздовжню ε по поперечну ε' деформації за формулами:

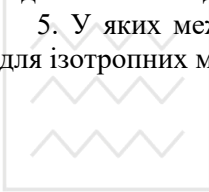
$$\varepsilon = \frac{\Delta T_1^m \cdot m}{l}; \quad \varepsilon' = \frac{\Delta T_2^m \cdot m}{l}. \quad (2.8)$$



6. Обчислити величини модуля пружності E та коефіцієнта Пуассона ν .
7. Порівняти одержані дослідним шляхом величини та їхні табличні значення, що наведені у довідниках.

Контрольні запитання

1. Який фізичний та геометричний зміст має модуль пружності E ? Яка суть закону Р. Гука та його формула?
2. Які властивості матеріалу характеризує коефіцієнт Пуассона?
3. Як за даними тензометрії обчислити абсолютну та відносну деформації? Одиниці вимірювання Δl , ε , ε' , ν ?
4. Одиниці вимірювання σ та E – однакові. А в чому відмінність σ від E ?
5. У яких межах знаходиться значення коефіцієнта Пуассона для ізотропних матеріалів?





3. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИВЧЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ СТИСКУ СТАЛІ ТА ЧАВУНУ

М е т а р о б о т и: ознайомлення з методами випробування матеріалів на стиск; дослідження поведінки сталевих та чавунних зразків при стисканні; визначення механічних характеристик сталі та чавуну.

Короткі теоретичні відомості

Для пружно-пластичних матеріалів (сталь, алюміній, мідь та інші) границі пропорційності при стиску і при розтягу приблизно однакові. Тому випробування на стиск є додатковими до випробувань цих матеріалів на розтяг. Крихкі матеріали (чавун, бетон, граніт та інші) на стиск працюють значно краще, ніж на розтяг, і застосовуються, зазвичай, в стиснутих елементах конструкцій. Тому крихкі матеріали випробовують, головним чином, на стиск.

Випробування на стиск сталюого зразка

Потрібно відмітити, що механічні характеристики матеріалів у випробуваннях на стиск дуже залежать від геометричних розмірів зразка і умов проведення досліджень. З одного боку, довгий зразок при його стисканні зігнеться, тому що практично неможливо досягти збігу геометричної осі зразка і силової осі створеного машиною навантаження F (рис. 3.1, а).

З іншого боку, чим коротший зразок, тим більший вплив на його напружений стан сил тертя, які виникають між торцями зразка і опорними плитами машини, і в кінці кінців на його міцність. Сили тертя заважають вільному деформуванню зразка в поперечному напрямку, а тому він набуває опуклої форми (рис. 3.1, б). Із збільшенням висоти зразка, вплив сил тертя на напружений стан в середній частині зразка зменшується, але для запобігання викривлення необхідно все ж застосувати відносно короткі зразки.

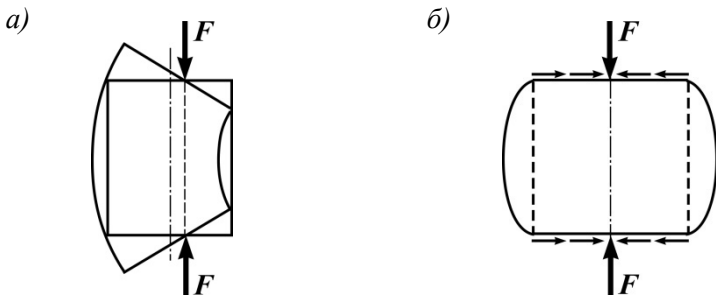


Рис. 3.1. Вплив згинання (а) та сил тертя (б) на стиснутий зразок

Рекомендовано для металів використовувати зразки циліндричної форми з відношенням довжини l_0 до діаметра d_0 (рис. 3.2):

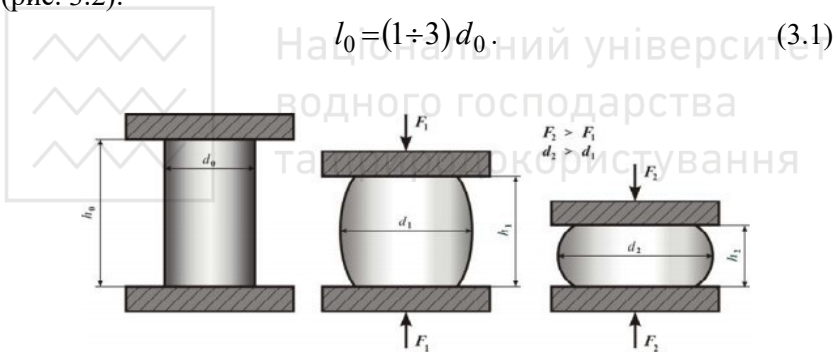


Рис. 3.2. Стиск сталюго зразка

Діаграма стиску сталюго зразка показана на рис. 3.3. Якщо порівнювати її з діаграмою на розтяг (лабораторна робота № 1) для такого ж матеріалу, можна побачити, що тільки на ділянці 0–1–2 вони однакові. При подальшому навантаженні (ділянка 2–3) зразок отримує значні пластичні деформації. Він сплющується, але зруйнувати його не вдається. При досягненні точки 3 випробування припиняють за технічними можливостями випробувальної машини.

Таким чином, при випробуванні сталі на стиск визначають



тільки дві характеристики міцності: границю пропорційності σ_{pr} і границю текучості σ_y , а саме:

$$\sigma_{pr}^c = \frac{F_{pr}}{A_0}; \quad \sigma_y^c = \frac{F_y}{A_0}, \quad (3.2)$$

де A_0 – початкова площа поперечного перерізу зразка.

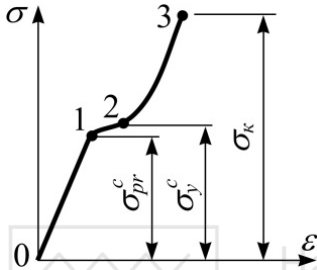


Рис.3.3. Діаграма стиску сталюго зразка

Важливо відмітити те, що для однієї і тієї ж марки сталі границі пропорційності на стиск і на розтяг практично однакові: $\sigma_{pr}^c \approx \sigma_{pr}^t$. Це стосується також і границі текучості: $\sigma_y^c \approx \sigma_y^t$.

Випробування на стиск чавунного зразка

При стисканні чавунного зразка на діаграмі (рис. 3.4) спостерігається пружна, але чітко виражена нелінійна залежність між навантаженням та деформацією на всьому проміжку від початку навантаження до руйнування зразка. Однак в інженерних розрахунках для цього фізично нелінійного матеріалу все ж таки наближено застосовують закон Р. Гука.

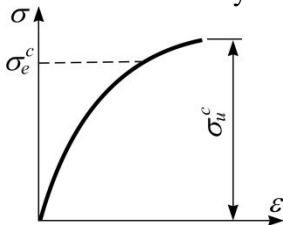


Рис. 3.4. Діаграма стискання чавуну

Руйнування зразка супроводжується появою на циліндричній поверхні тріщини, яка нахилена під кутом $\alpha \approx 45^\circ$ до його осі (рис. 3.5). Чавун витримує великі навантаження при дуже незначних залишкових деформаціях. Форма зруйнованого зразка злегка опукла (рис. 3.6).

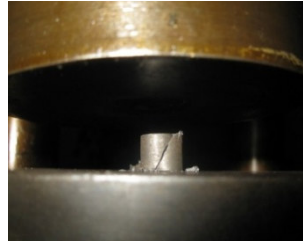
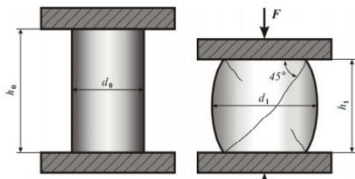


Рис. 3.5. Стиск чавунного зразка



Таким чином, при випробуванні чавунного зразка на стиск визначають тільки одну характеристику міцності – границю міцності σ_u^c :

$$\sigma_u^c = \frac{F_u}{A_0} \quad (3.3)$$

Рис. 3.6. Зразки після дослідів

Значення σ_y^c, σ_u^c використовують для встановлення нормативного опору R_{yn}, R_{um} шляхом стандартизованої статистичної обробки даних випробувань. Допустиму напругу σ_{adm}^c та розрахунковий опір R_c крихких матеріалів встановлюють так:

$$\sigma_{adm}^c = \frac{\sigma_u^c}{n_u}; \quad R_c = \frac{R_{um}}{\gamma_m}, \quad (3.4)$$

де n_u – коефіцієнт запасу міцності, а γ_m – коефіцієнт надійності за матеріалом.

Вимірювальні прилади та випробувальні машини

Для вимірювання розмірів зразків використовують штангенциркуль. Випробування їх на стиск проводять в лабораторії на машині УИМ-50 (рис. 1.3), або ГРМ-1 (рис. 3.7).



Рис. 3.7. Випробувальна машина ГРМ-1

***Технічні характеристики універсальної випробувальної
машини ГРМ-1***

Призначена для статичних і динамічних випробувань металів, пластмас, композитів, деталей та виробів з них на розтяг, стиск і згин.

Робоче зусилля створюється гідравлічним тиском.
Максимальне зусилля – **50 тс (500 кН)**.

Граничні значення шкал:

- А – 0-5 тс (0-50 кН);**
- Б – 0-20 тс (0-200 кН);**
- В – 0-50 тс (0-500 кН).**

Маса установки – **5800 кг**.

Послідовність виконання роботи

1. Виміряти діаметр d_0 та довжину l_0 зразків, обчислити площі поперечних перерізів зразків A_0 , записати в журнал (додаток А).



2. Встановити чавунний зразок між опорними плитами машини і, стискаючи його, довести до руйнування. Найбільше навантаження $F_{u,c}$, записати в таблицю спостережень журналу.

3. Стальний зразок стиснути зусиллям, яке перевищує границю пропорційності сталі в 2–3 рази. Найбільше навантаження, що відповідає кінцю випробувань F_k , записати в журнал. З діаграми визначити навантаження, яке відповідає границі пропорційності F_{pr} .

4. Виміряти діаметр d_1 та довжину l_1 зразків після випробувань, обчислити площі поперечних перерізів зразків A_1 .

5. Обчислити границю пропорційності $\sigma_{pr} = F_{pr}/A_0$ для сталі, границю міцності $\sigma_{u,c} = F_{u,c}/A_0$ для чавуну на стиск. Обчислити величини відносних деформацій, які відповідають границі пропорційності та завершенню досліду для сталі ($\varepsilon_k = \Delta l_k/l_0$), а також границі міцності для чавуну.

6. За отриманими даними побудувати діаграми стиску.

7. Зробити висновки, в яких відмітити поведінку зразків під час випробування: порівняти σ_{pr} сталю зразка на стиск та на розтяг (лабораторна робота № 1).

Контрольні запитання

1. Які характеристики міцності отримують при випробуванні на стиск зразків: а) із пластичних матеріалів; б) із крихких матеріалів?

2. Чому циліндричні стальний та чавунний зразки у процесі стискання набувають опуклої форми?

3. Чим пояснюється утворення тріщини руйнування у чавунному зразку під кутом приблизно 45° до його осі?

4. Як за результатами випробувань пластичних та крихких матеріалів на стиск встановлюють величину допустимої напруги, нормативного та розрахункового опорів на стиск?



4. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИВЧЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ДЕРЕВИНИ ПРИ ЇЇ СТИСКАННІ

Мета роботи: провести дослідження поведінки деревини при стисканні, визначити механічні характеристики міцності при стисканні деревини вздовж та поперек волокон.

Короткі теоретичні відомості

Деревина – типовий представник неоднорідних анізотропних матеріалів. *Анізотропними* називають такі матеріали, фізичні властивості яких в різних напрямках неоднакові. Тому для визначення механічних характеристик міцності деревини зразки випробовують на стиск як вздовж (рис. 4.1) так і поперек волокон (рис. 4.2).

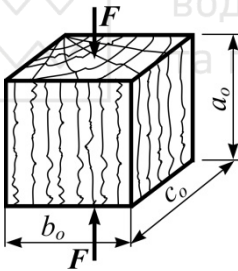


Рис. 4.1. Стискання зразка
вздовж волокон

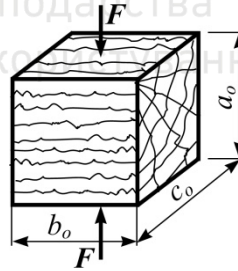


Рис. 4.2. Стискання зразка
поперек волокон

Стискання деревини вздовж волокон

Діаграма стискання дерев'яного зразка вздовж волокон (рис. 4.3; залежність I) подібна до діаграми стискання чавуну (рис. 3.4).

Між зусиллям F та деформацією Δl на початку навантаження має місце слабо виражена нелінійна залежність. Однак, зі збільшенням навантаження на зразок нелінійність



зростає. При досягненні граничного навантаження F_u^c зразок руйнується. При цьому волокна деревини викривляються, утворюючи поперечну складку, яка нахилена під кутом від 45° до 90° до напрямку дії сили стискання (рис. 4.4).

Внаслідок випробувань зразків на стиск вздовж волокон визначають границю міцності

$$\sigma_u^c = \frac{F_u^c}{A_o}, \quad (4.1)$$

де A_o – початкова площа поперечного перерізу зразка.

Стискання деревини поперек волокон

При стисканні зразка поперек волокон залежність $F \sim \Delta l$ має інший вигляд (рис. 4.3, діаграма II). До точки 1 на діаграмі спостерігається прямо пропорційна залежність між силою та деформацією. Це дозволяє визначити границю пропорційності при стиску деревини поперек волокон:

$$\sigma_{pr,90}^c = \frac{F_{pr,90}^c}{A_o}. \quad (4.2)$$

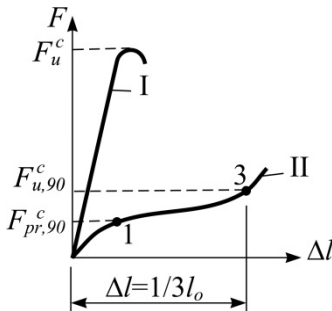


Рис. 4.3. Діаграми стискання деревини: I – вздовж волокон; II – поперек волокон

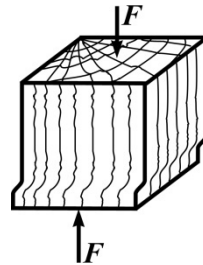


Рис. 4.4. Утворення складки руйнування у стиснутому вздовж волокон зразку



Зі збільшенням навантаження деревина проявляє здатність дуже ущільнюватись без видимих ознак руйнування. Тому за руйнівну силу $F_{u,90}^c$ умовно приймають таку силу, при дії якої абсолютна деформація зразка досягає $1/3$ його початкової довжини, тобто:

$$\Delta l = \frac{1}{3} a_0,$$

а відношення $F_{u,90}^c$ до A_0 називають границею міцності деревини при стисканні поперек волокон:

$$\sigma_{u,90}^c = \frac{F_{u,90}^c}{A_0}. \quad (4.3)$$

Порівнюючи криві I і II (рис. 4.3) приходимо до висновку, що деформації зразка, стиснутого вздовж волокон, у момент руйнування значно менші, ніж при стисканні його поперек волокон. Характер руйнування в обох випадках суттєво різний. Деревина, що стискається вздовж волокон, проявляє властивості крихкого матеріалу, а поперек волокон – пружно-пластичного матеріалу. Міцність зразка при стиску вздовж волокон у $5 \div 7$ разів більша, ніж поперек волокон.

Зразки, вимірвальні прилади та випробувальна машина

Зразки для випробувань виготовляють у формі куба $30 \times 30 \times 30$ мм. Міцність деревини залежить від її вологості. Стандартна вологість досліджуваної деревини має становити 15%. Вимірювання розмірів зразка здійснюється штангенциркулем. Випробування виконується на машині УИМ-50 (рис. 1.3).

Послідовність виконання роботи

1. Заміряти розміри зразків a_0 , b_0 , c_0 до випробувань.
2. Обчислити початкову площу поперечного перерізу



зразків A_0 .

3. Провести випробування зразків, орієнтуючи волокна вздовж та поперек до напрямку дії сили стиску.

4. За діаграмою, отриманою при випробуванні, визначити величини руйнівних зусиль F_u^c та $F_{u,90}^c$, а також величину навантаження $F_{pr,90}^c$, яке відповідає границі пропорціональності.

5. Заміряти розміри зразків a_1 , b_1 , c_1 після випробувань.

6. Результати випробувань занести в журнал (додаток А).

7. За даними випробувань побудувати відповідні діаграми стиску.

8. Визначити механічні характеристики деревини σ_u^c , $\sigma_{u,90}^c$, $\sigma_{pr,90}^c$, а також деформації ε_u , ε_{pr} .

9. Зробити висновки.



1. Які матеріали називаються анізотропними? Наведіть приклади. Які особливості їхньої структури?

2. Як визначається значення границі міцності деревини на стиск поперек волокон?

3. У якому напрямку до волокон міцність деревини на стиск найбільша?

4. Властивості крихкого чи пружно-пластичного матеріалу проявляє деревина при стисканні?



5. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИВЧЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ЗСУВУ СТАЛІ ТА ДЕРЕВИНИ

Мета роботи: вивчити характер руйнування сталі та деревини при зсуві; визначити границю міцності на зсув для сталі та деревини вздовж волокон; порівняти границю міцності сталі на зсув з границею міцності на розтяг.

Короткі теоретичні відомості

Деталі машин та елементи інженерних конструкцій можуть працювати в таких умовах, коли зовнішні сили намагаються зруйнувати їх шляхом зсуву. Характерними прикладами таких конструктивних елементів є заклепка (рис. 5.1) та з'єднання дерев'яних елементів врубкою (рис. 5.2). На поверхнях можливого зрізу $m - n$ та $\kappa - p$ діють тільки дотичні напруги τ , які можна вважати рівномірно розподіленими на площині зсуву A_s і які знаходяться за формулою:

$$\tau = \frac{F}{A_s}. \quad (5.1)$$

Коли дотична напруга досягає границі міцності τ_u матеріалу, то елемент конструкції руйнується. Процес руйнування металевих елементів, який настає внаслідок деформації зсуву, називають зрізом. Щодо дерев'яних елементів, то цей процес руйнування називають сколюванням. Величина τ_u знаходиться експериментально.

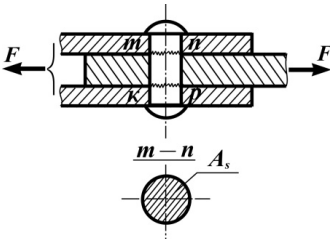


Рис. 5.1. З'єднання заклепкою

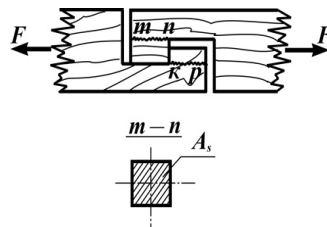


Рис. 5.2. З'єднання врубкою



Потрібно відмітити, що границя міцності сталі на зріз складає у досліджах $60 \div 80\%$ границі міцності сталі на розтяг, тобто $\tau_u = (0,6 \div 0,8)\sigma_u^t$, а теоретично за четвертою теорією міцності $\tau_u \approx 0,57\sigma_u^t$.

Зразки, спеціальні пристрої та випробувальна машина

Для випробування сталі на зріз використовують циліндричні зразки (рис. 5.3) діаметром $d=5$ мм. Зразок вставляється в пристрій (рис. 5.4), який забезпечує його руйнування з двома площинами зрізу (рис. 5.3).



Рис. 5.3. Стальний зразок для дослідження на зріз

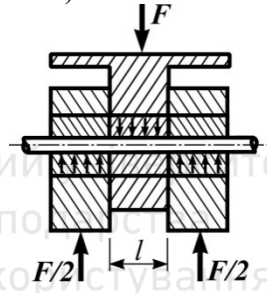
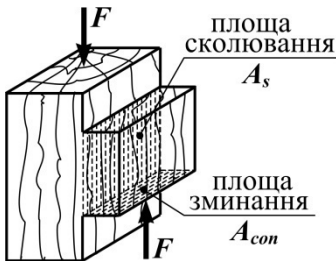


Рис. 5.4. Схема установки для руйнування сталі зрізом

Опір деревини сколюванню під дією сили, направленої вздовж волокон, визначається на зразках стандартизованого виду (рис. 5.5, а), що моделюють врубку.

а)



б)

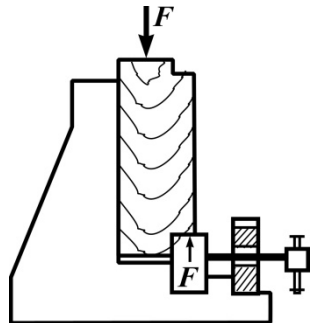


Рис. 5.5. Дерев'яний зразок (а) та спеціальний пристрій (б)



Зразок вставляють в спеціальний пристрій, як показано на рис. 5.5, б.

Випробування здійснюється за допомогою випробувальної машини УММ-10 (рис. 5.6).



Рис. 5.6. Випробувальна машина УММ-10

Технічні характеристики випробувальної машини УММ-10

Призначена для статичних випробувань матеріалів, деталей та виробів на розтяг, стиск, зсув і згин.

Робоче зусилля створюється гідравлічним тиском.

Максимальний робочий тиск – 160 кг/см^2 (16МПа).

Максимальне зусилля – **10 тс (100 кН)**.

Граничні значення шкал: **0-1тс (0-10кН); 0-2,5тс (0-25кН);**

0-5тс (0-50кН); 0-10тс (0-100кН).

Маса установки – **1142 кг**.

Послідовність виконання роботи

1. Заміряти розміри сталюого та дерев'яного зразків.
2. Обчислити площі зрізу A_s та змінання A_{con} сталюого



зразка, площі сколювання A_s та зминання A_{con} дерев'яного зразка (рис. 5.3, рис. 5.5).

3. Встановити зразки в спеціальні пристрої і за допомогою випробувальної машини УММ-10 довести до руйнування (рис. 5.7), зафіксувавши величини руйнівних навантажень при зрізі та сколюванні F_u .



Рис. 5.7. Зразки після випробування

4. Визначити величини границі міцності сталі на зріз та деревини на сколювання:

$$\tau_u = \frac{F_u}{A_s} \quad (5.2)$$

5. Визначити напругу зминання, яка має місце в момент руйнування від зрізу (сколювання) в сталевому та дерев'яному зразках:

$$\sigma^{con} = \frac{F_u}{A_{con}}, \quad (5.3)$$

де A_{con} – площа зминання.

6. Оформити в журналі (додаток А) звіт про виконану роботу та зробити висновки.

Контрольні запитання

1. Як співвідносяться границі міцності для маловуглецевої сталі на розтяг і на зріз?



2. Як обчислити площу зрізу A_s сталюго зразка і площу можливого зминання A_{con} ?

3. Як обчислити площу сколювання A_s дерев'яного зразка і площу можливого зминання A_{con} ?

3. Наведіть приклад з'єднання з використанням однозрізних заклепок. Чому дорівнює загальна площа зрізу A_s , якщо у з'єднанні є n заклепок?





6. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

КРУЧЕННЯ СТАЛЬНОГО БРУСА КРУГЛОГО ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ

Мета роботи: дослідити залежність між навантаженням і деформацією кручення вала; визначити модуль зсуву.

Короткі теоретичні відомості

В інженерній практиці досить часто зустрічаються елементи конструкцій і машин, які зазнають деформацію кручення (вали машин, елементи будівельних просторових конструкцій, пружини, тощо). Для визначення необхідних у розрахунках на міцність механічних характеристик та пружних фізичних сталих матеріалів циліндричні вали випробовують на дію статичних навантажень, що скручують їх.

Критерієм деформації кручення прийнято вважати кут закручування поперечного перерізу вала $-\Delta\varphi$. За результатами досліджень будують діаграму кручення в координатах $T - \Delta\varphi$, де T – крутний момент (рис. 6.1). Ця діаграма складається з пружної (відрізок 0-1, рис. 6.1) та пружно-пластичної деформацій (відрізок 1-2, рис. 6.1).

На відрізку 0-1 (рис. 6.1) деформація вала відповідає закону Р. Гука:

$$\Delta\varphi = \frac{T \cdot l}{G \cdot I_p}, \quad (6.1)$$

де l – довжина вала, що скручується; I_p – полярний момент інерції поперечного перерізу вала; G – модуль зсуву.

З формули (6.1) можна визначити величину модуля зсуву, а саме:

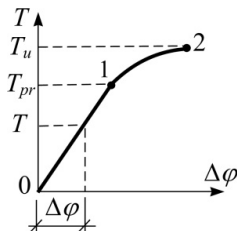


Рис. 6.1. Діаграма кручення сталюго вала



$$G = \frac{T \cdot l}{\Delta\varphi \cdot I_p} . \quad (6.2)$$

Модуль зсуву є фізичною сталою матеріалу і характеризує його жорсткість на зсув у межах пружного деформування.

Випробувальні машини та лабораторне устаткування

Виконання даної лабораторної роботи можна провести в лабораторії з використанням випробувальної машини МК-5-1 (рис. 6.2), або за допомогою спеціального лабораторного устаткування.



Рис. 6.2. Випробувальна машина МК-50-1

Технічні характеристики випробувальної машини МК-50-1

Призначена для випробувань зразків з металу та інших матеріалів на кручення.



Максимальний крутний момент – **50 кгс·м (490 Нм)**.

Кількість шкал для замірювання крутного моменту – **3**.

Граничні значення шкал:

A – 0-50кгс·м (490 Нм),

Б – 0-20кгс·м (196 Нм),

В – 0-10кгс·м (98 Нм).

Ціна поділки шкали кутів закручування – **1 град.**

Види навантаження – за допомогою електродвигуна та вручну.

Маса машини – **645 кг**.

Схема спеціального лабораторного устаткування показана на рис. 6.3. Вал 1 круглого поперечного перерізу жорстко закріплено на верхньому краю(точка *C*), а нижній край (точка *D*) вільний. Вал проходить через підшипник 2 жорсткого кронштейна, який підстраховує його від згинання, але дає можливість прокручуватись. Важіль 3 нерухомо закріплено на нижньому краю вала і зв'язано за допомогою троса 4, який перекинуто через блоки 5, з навантажувальною поперечиною. У середній частині поперечини закріплено шальку для завантаження.

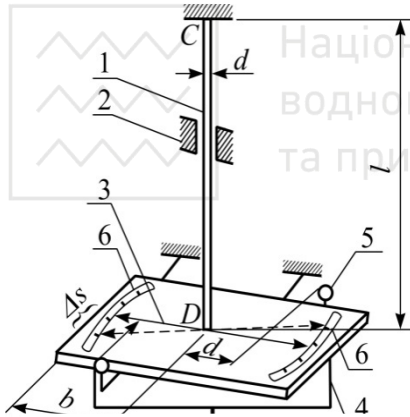


Рис. 6.3. Пристрій для досліджень кручення вала

Якщо на шальку покласти вантаж F , то на важіль 3 діють дві рівні і протилежно направлені сили $F/2$, які утворюють пару сил з

моментом навантаження $T_e = \frac{F}{2} 2a = Fa$. Момент T_e викликає закручування вала, створюючи в усіх поперечних перерізах крутний момент $T = T_e$.

За допомогою шкал 6, розташованих під правим та лівим краями важеля 3, вимірюється довжина дуги закручування Δs з



радіусом b . Тоді центральний кут $\Delta\varphi$ в радіанах (він же кут закручування вала) буде становити $\Delta\varphi = \Delta s/b$.

Послідовність виконання роботи

1. Записати в таблицю журналу лабораторних робіт (додаток А) геометричні характеристики досліджуваного вала та лабораторного пристрою.

2. Обчислити полярний момент інерції поперечного перерізу вала за формулою:

$$I_p = \frac{\pi d^4}{32}. \quad (6.3)$$

3. Записати в журнал показники із шкал 6 (S) при трьох значеннях навантаження F : (9,81 Н; 19,62 Н; 29,43 Н).

4. Обчислити значення дуг закручування ΔS , як різницю між наступним і попереднім показниками по шкалі 6, що при лінійно-пружному деформуванні відповідає дії моменту $\Delta T_e = \Delta T = \Delta F a$.

6. Обчислити ΔS_m , як середнє арифметичне всіх значень ΔS на лівій та правій шкалах.

7. Визначити середній кут закручування $\Delta\varphi_m$

$$\Delta\varphi_m = \frac{\Delta S_m}{b}. \quad (6.4)$$

8. Визначити модуль зсуву за формулою:

$$G = \frac{\Delta T \cdot l}{\Delta\varphi_m \cdot I_p}. \quad (6.5)$$

9. Побудувати діаграму в координатах $T - \Delta\varphi$ і перевірити справедливність лінійної залежності.

10. Зробити відповідні висновки.



Контрольні запитання

1. Які властивості матеріалів характеризує модуль зсуву G ?
2. Яка залежність існує між фізичними сталими G , E , ν ізотропних матеріалів? Яка одиниця вимірювання G ?
3. Як формулюється закон Р. Гука при крученні вала? Який вигляд має діаграма кручення вала із сталі?
4. Який характер руйнування циліндричних валів із пластичних та крихких матеріалів?





7. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ГВИНТОВОЇ ПРУЖИНИ

М е т а р о б о т и: дослідна перевірка теоретичних формул для визначення деформацій гвинтОВОЇ пружини.

Короткі теоретичні відомості

При проектуванні пружин та їх експлуатації необхідно вміти обчислювати поздовжні деформації (осадку) пружин під дією розтягу або стиску. У курсі опору матеріалів дається формула для знаходження поздовжньої осьової деформації гвинтОВОЇ пружини (переміщення верхнього краю відносно нижнього):



$$\lambda = \frac{64FR^3n}{Gd^4}, \quad (7.1)$$

де F – навантаження; R – середній діаметр пружини; n – кількість витків пружини; G – модуль зсуву матеріалу; d – діаметр дроту пружини.

Величина сили F , при якій деформація λ пружини дорівнює одиниці, називається жорсткістю пружини C , тобто:

$$C = \frac{F}{\lambda} = \frac{G \cdot d^4}{64R^3n}. \quad (7.2)$$

Формула (7.1) одержана на основі теорії кручення прямого бруса круглого поперечного перерізу. Вплив поперечної та поздовжньої сил, а також згинального моменту, які мають місце в поперечних перерізах витків, не враховується. Не приймається до уваги і кривизна витка та його нахил до осі пружини.

Практика вказує на те, що формула (7.1) дає задовільні результати для пружин з кутом нахилу витка не більше 10° до площини, що є перпендикулярною до осі пружини.



Лабораторне устаткування



Рис. 7.1. Пристрій для досліджень деформацій пружини

Послідовність виконання роботи

1. Записати в таблицю журналу лабораторних робіт (додаток А) характеристики пружини.
2. Покласти початковий тягарець на підставку 2 і записати в журнал покази лівої та правої вимірювальних лінійок.
3. Збільшуючи рівномірно навантаження, зафіксувати відповідну деформацію λ (на правій шкалі – λ_n , на лівій – λ_l).
4. Обчислити прирости відліків на правій $\Delta\lambda_n$ та лівій $\Delta\lambda_l$ шкалах як різницю між наступним та попереднім значеннями деформацій пружини, вважаючи, що навантаження становить $\Delta F = F_i - F_{i-1}$, де F_{i-1} , F_i – два сусідні значення навантаження.
5. Обчислити середні значення приростів на обох шкалах:



$$\Delta\lambda_l^m = \frac{\sum \Delta\lambda_l}{k} ; \quad \Delta\lambda_n^m = \frac{\sum \Delta\lambda_n}{k}, \quad (7.3)$$

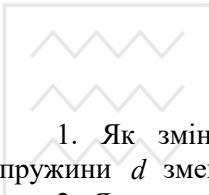
де k – кількість ступенів навантаження.

6. Визначити експериментальну величину деформації пружини:

$$\Delta\lambda = \frac{\Delta\lambda_l^m + \Delta\lambda_n^m}{2}. \quad (7.4)$$

7. Теоретичне значення величини деформації пружини визначити за допомогою формули (7.1), а її жорсткість за формулою (7.2).

8. Порівняти теоретичну та експериментальну величини деформації пружини. Зробити відповідні висновки.



Національний університет водного господарства та природокористування

Контрольні запитання

1. Як зміниться осадка пружини, якщо діаметр дроту пружини d зменшити в 2 рази?
2. Як залежить осадка пружини від пружних властивостей матеріалу? Як визначається деформація пружини?
3. Якими зусиллями нехтують у наближеному розрахунку поздовжньої деформації пружини (осадки)?
4. Де застосовуються гвинтові пружини в техніці?
5. Що називають жорсткістю пружини? Як її визначають?



8. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУГ ПРИ ЧИСТОМУ ЗГІНІ БАЛКИ

Мета роботи: познайомитись з характером розподілу нормальних напруг при чистому згині в межах поперечного перерізу балки та порівняти напруги, одержані дослідним шляхом, з їх відповідними теоретичними значеннями.

Короткі теоретичні відомості

Якщо зовнішні сили лежать в площині поздовжньої симетрії балки і направлені перпендикулярно до її осі, то балка зазнає деформації прямого згину. Розрізняють два види такого згину: чистий прямий згин (чистий згин) та поперечний прямий згин (поперечний згин).

Чистим називається згин балки (рис. 8.1) або згин ділянки балки (наприклад, ділянка BC на рис. 8.2), при якому згинальний момент має незмінне значення, а поперечна сила відсутня (тобто $Q(x) \equiv 0$) в усіх поперечних перерізах ділянки.

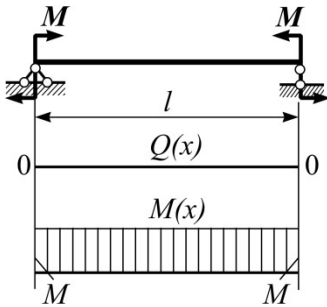


Рис. 8.1. Чистий згин балки

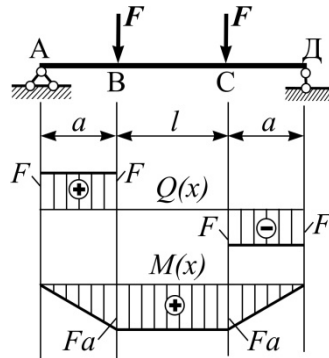


Рис. 8.2. Чистий згин на ділянці BC балки



У випадку чистого згину в будь-якому поперечному перерізі балки (або ділянки балки) дотичні напруги $\tau = 0$, а нормальні напруги знаходяться за формулою Нав'є:

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I_z}, \quad (8.1)$$

де M – згинальний момент у перерізі балки; y – координата точки перерізу, в якій визначається напруга; I_z – осьовий момент інерції поперечного перерізу балки відносно нейтральної лінії (поперечної головної центральної осі z поперечного перерізу).

З наведеної формули видно, що нормальна напруга по висоті перерізу змінюється за лінійною залежністю. Найбільшого значення напруга σ досягає в точках, які найбільш віддалені від нейтральної лінії. В точках на нейтральній лінії (на осі z) $\sigma = 0$.

В курсі опору матеріалів формула (8.1) одержана з використанням гіпотези плоских поперечних перерізів, згідно якої вони залишаються нормальними до пружної лінії балки в процесі її деформування (гіпотеза Бернуллі).

Достовірність гіпотези та точність формули можна оцінити дослідним шляхом. Дослід дозволяє встановити дійсний характер розподілу напруг σ по висоті поперечного перерізу i , таким чином, впевнитись у придатності формули (8.1) для практичних розрахунків.

У дослідному визначенні напруг при згині балки використовується метод тензометрії. Метод ґрунтується на вимірюванні деформацій в характерних точках за допомогою електротензометрів (див. лабораторну роботу № 2).

Лабораторне обладнання

Дослідне визначення величин нормальних напруг в характерних точках поперечного перерізу балки при її чистому згині здійснюється за допомогою лабораторної установки, представленої на рис. 8.3.



Рис. 8.3. Діюча установка для дослідження напруженого стану балки при чистому згині

В ролі дослідного зразка застосовується двотаврова балка, яка вільно спирається на опори B і D (рис. 8.4).

Навантаження на балку здійснюється за допомогою гідравлічного пресу. Зосереджена сила F , прикладена посередині розподільної балки, передається через опори на дослідну балку (рис. 8.4). Ділянка балки між опорами B і D є дослідною, бо вона зазнає чистого згину двома парами сил $M = (F/2)a$.

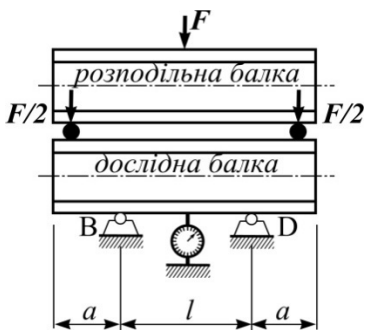


Рис. 8.4. Схема навантаження дослідної балки

Поздовжні деформації в характерних точках перерізу балки вимірюються за допомогою електричних тензометрів, приклеєних до балки паралельно осі x в тих місцях, у яких визначаються напруги. Схема закріплення тензометричних датчиків на балці зображена на рис. 8.5.

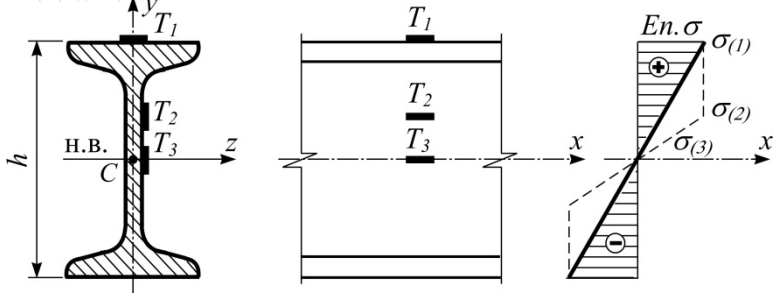


Рис. 8.5. Схема розміщення датчиків та епюра нормальних напруг в перерізі посередині балки

Для співставлення результатів дослідів та розрахунків доцільно побудувати епюру розподілу нормальних напруг по висоті перерізу балки (суцільна лінія), користуючись формулою (8.1), та накласти її на епюру, побудовану за дослідними даними (пунктирна лінія), що одержані в точках 1, 2, 3 поперечного перерізу балки (рис. 8.5).

Послідовність виконання робіт

1. Виміряти довжину ділянок балки та висоту поперечного перерізу балки, знайти їх відношення (h/l).
2. Записати в журнал (додаток А) необхідні геометричні характеристики поперечного перерізу балки (додаток Б, табл. 1).
3. Побудувати для всієї дослідної балки епюри поперечних сил $Q(x)$ та згинальних моментів $M(x)$.
4. Записати в журнал характеристики вимірювальної апаратури (базу тензметра l_e та ціну поділки шкали тензметричного приладу m_e).
5. Завантажити балку початковою зосередженою силою F та записати в журнал покази приладу, отримані від кожного тензметра (датчика).

Величина навантаження встановлюється за допомогою індикатора годинникового типу, розташованого посередині під



дослідною балкою (рис. 8.4). Зміна показів його на 10 поділок відповідає значенню сили $F = 9,81$ кН.

6. Збільшити навантаження F в 2, потім у 3 рази і відповідні покази приладу записати в журнал.

7. Обчислити середні прирости у показах кожного тензометра ΔT_i^m ($i = 1, 2, 3$) на кожному кроці навантаження.

8. Обчислити середні значення відносних деформацій в точках 1, 2, 3 за формулою:

$$\Delta \varepsilon_{(i)}^m = \frac{\Delta T_i^m \cdot m_e}{l_e}. \quad (8.2)$$

9. Обчислити дослідні значення напруг в точках 1, 2, 3 за формулою закону Р. Гука:

$$\sigma_{(i)} = \Delta \varepsilon_{(i)}^m \cdot E, \quad (8.3)$$

де E – модуль пружності матеріалу балки.

10. Обчислити теоретичні значення напружень в точках 1, 2, 3 за формулою (8.1).

11. Побудувати епюри розподілу нормальних напруг по висоті поперечного перерізу балки за дослідними та теоретичними даними.

12. Зробити відповідні висновки.

Контрольні запитання

1. У чому відмінність між чистим та поперечним згином балки?

2. Які гіпотези використано в теорії чистого згину балки? Поясніть їх суть.

3. В яких точках поперечного перерізу балки нормальна напруга завжди дорівнює нулю? Поясніть це, користуючись формулою Нав'є (8.1).

4. Який характер розподілу нормальних напруг по висоті поперечного перерізу балки за гіпотезою Бернуллі?



9. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОГИНІВ ТА КУТІВ ПОВОРОТУ ПЕРЕРІЗІВ БАЛКИ

Мета роботи: знайти дослідним шляхом величини прогинів та кутів повороту заданих перерізів балки; порівняти отримані результати з теоретичними розрахунками.

Короткі теоретичні відомості

Зовнішні сили, розміщені в одній з головних площин балки, викликають викривлення її осі в тій же площині. На рис. 9.1 зображена деформована вісь балки. Переміщення OO_1 (або BB_1) центра маси поперечного перерізу в напрямку, перпендикулярному до недеформованої осі балки, називають **прогином** балки. Позначають прогин балки через “ y ”.

Але центр маси будь-якого перерізу балки, окрім вертикального переміщення – прогину “ y ”, отримує і горизонтальне переміщення. Однак, це переміщення (при умові, що деформація балки пружна) є величиною дуже малою у порівнянні з прогином, і тому горизонтальним переміщенням нехтують.

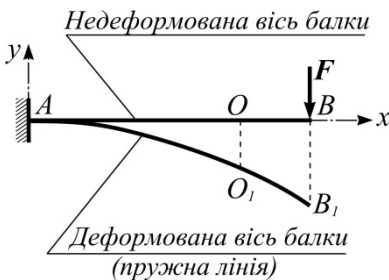


Рис. 9.1. Вертикальні переміщення перерізів балки

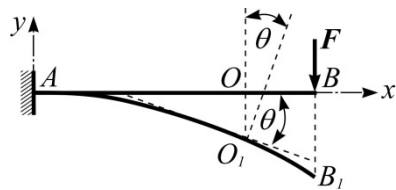


Рис. 9.2. Кутіві переміщення перерізів балки



При деформуванні балки поперечний переріз, залишаючись плоским, повертається на деякий кут по відношенню до свого попереднього положення. На рис. 9.2 зображено кут θ , на який повертається поперечний переріз балки по відношенню до свого початкового положення. Цей кут називають **кутом повороту** поперечного перерізу балки.

Для практичних потреб необхідно вміти знаходити величини прогинів та кутів повороту будь-якого перерізу балки. З точки зору нормальної експлуатації самої балки її максимальні прогини обмежують розрахунковою величиною.

Для забезпечення нормальної роботи підшипників ковзання та кочення обмежують кути повороту опорних перерізів. У більшості випадків допустимий кут повороту має складати в середньому 0,001 радіана.

Таким чином, балки, як елементи будівельних конструкцій та машин, розраховуються не тільки на міцність, а й на жорсткість.

Прогини та кути повороту знаходять одним з відомих методів: методом безпосереднього інтегрування, методом початкових параметрів та ін. В основі названих методів лежить наближене диференціальне рівняння деформованої осі балки:

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M(x). \quad (9.1)$$

Рівняння (9.1) являється наближенням, а тому має обмежену точність і, відповідно, область застосування. Встановлено, що якщо відношення довжини прогону балки l до висоти поперечного перерізу h не перевищує 300 (тобто $l/h \leq 300$), то точність, яку забезпечує в цьому випадку рівняння (9.1), знаходиться в межах 3%. Якщо ж вказані обмеження порушуються в бік зростання, то розрахунок таких балок виконується методами теорії гнучких стержнів, яка виходить за межі курсу «Опір матеріалів».



Зразки, вимірювальні прилади

Дослід проводиться на устаткуванні (рис. 9.3), яке складається з сталеві балки 1, жорстко защемленої верхнім кінцем. Балка має прямокутний поперечний переріз з розмірами $b \times h$ та довжину l .

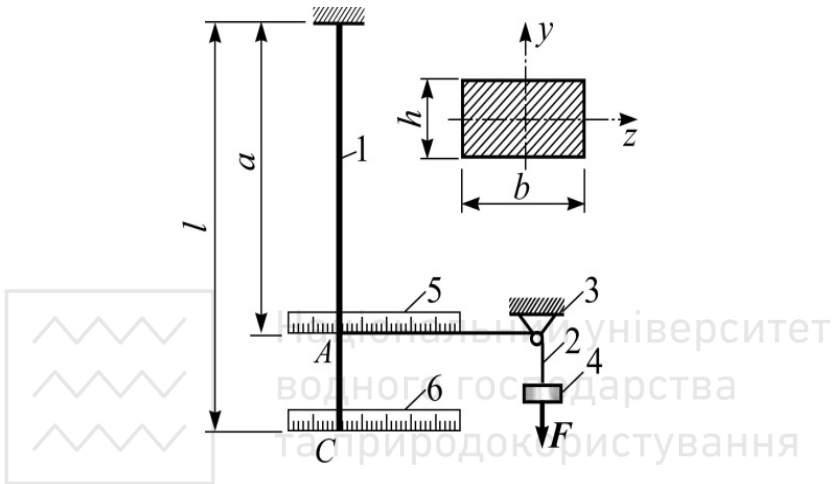


Рис. 9.3. Схема устаткування до лабораторної роботи № 9

Зовнішня сила F прикладена перпендикулярно більшій стороні b поперечного перерізу. Це дає можливість при невеликому навантаженні отримати відчутні деформації.

Навантаження балки здійснюється через тросик 2, перекинута через нерухомий блок 3, та шальку для ваг 4. Таким чином моделюється навантаження зосередженою силою. Величини прогинів перерізів A та C визначають за шкалами 5 і 6.

Безпосереднє вимірювання кутів повороту згаданих перерізів балки на цьому устаткуванні неможливе. Для їх визначення використовують значення прогинів перерізів A і C , отриманих за результатами дослідів.



Послідовність виконання роботи

1. Виконати замір поперечних розмірів балки (b, h), її довжини l , віддалі від защемлення балки до перерізу A . Одержані значення записати в журнал (додаток А).

2. Послідовно завантажити балку силою F (9,81 Н; 19,62 Н; 29,43 Н). Після кожного навантаження записати в журнал покази шкал 5 і 6.

3. Обчислити середні значення прогинів y_A^m та y_C^m за формулами:

$$y_A^m = \frac{y_{A_1} + y_{A_2} + \dots + y_{A_n}}{n}, \quad (9.1)$$

$$y_C^m = \frac{y_{C_1} + y_{C_2} + \dots + y_{C_n}}{n}, \quad (9.2)$$

де y_{A_i}, y_{C_i} – прогини перерізів A і C при i -ому навантаженні, n – кількість навантажень.

4. Обчислити дослідні значення кутів повороту перерізів за формулою:

$$\Theta_A = \Theta_C = \frac{y_C^m - y_A^m}{l - a}. \quad (9.3)$$

5. Записати рівняння методу початкових параметрів для заданої балки (рис. 9.3).

6. Обчислити прогини та кути повороту перерізів A та C .

7. Порівняти дослідні значення прогинів та кутів повороту перерізів A та C з теоретичними. Розходження, що матимуть місце між ними, записати в журнал.

8. Зробити висновок, в якому відмітити наступне:

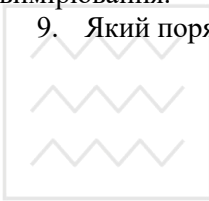
– як співвідносяться між собою дослідні та теоретичні значення прогинів та кутів повороту?

– чи допустиме застосування наближеної теорії для знаходження деформацій балок і в яких межах?



Контрольні запитання

1. Що називають прогином поперечного перерізу балки?
2. Що називають кутом повороту поперечного перерізу балки?
3. Яка мета виконуваної роботи?
4. Які методи знаходження деформацій балок Вам відомі?
5. Де на практиці використовується вміння знаходити прогини та кути повороту перерізів балок?
6. Записати наближене диференціальне рівняння пружної лінії балки.
7. В яких межах допустиме застосування метода початкових параметрів до розрахунку балок на жорсткість?
8. Що таке жорсткість балки при згині? Її одиниця вимірювання.
9. Який порядок проведення лабораторної роботи?





10. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

ВИЗНАЧЕННЯ РЕАКЦІЙ ОПОР СТАТИЧНО НЕВИЗНАЧЕНОЇ БАЛКИ

Мета роботи: знайти величину реакції проміжної опори статично невизначеної балки теоретичним та експериментальним шляхами, і порівняти отримані результати.

Короткі теоретичні відомості

Відомо, що реакції опор статично визначених балок знаходяться з умов статичної рівноваги. Дуже часто, з міркувань підвищення жорсткості балок, збільшують кількість опорних закріплень. При цьому кількість невідомих реакцій опор перевищує кількість можливих рівнянь рівноваги для балки. Тому маємо статично невизначену балку.

Різниця між кількістю невідомих реакцій опор балки і кількістю можливих рівнянь рівноваги вказує на ступінь її невизначеності. Приклади статично невизначених балок показано на рис. 10.1.

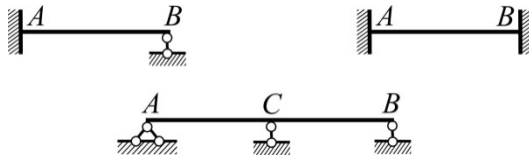


Рис. 10.1. Статично невизначені балки

Дуже важливим (з практичної точки зору) типом статично невизначених балок є **нерозрізна балка** (рис. 10.2), яка спирається більше як на дві опори і не має проміжних шарнірів.

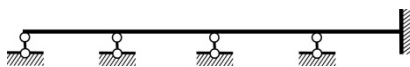


Рис. 10.2. Схема нерозрізної балки



Для розрахунків на міцність статично невизначених балок необхідно побудувати епюри поперечних сил та згинальних моментів, що, в свою чергу, потребує попереднього знаходження опорних реакцій. З цією метою складається така кількість додаткових рівнянь до рівнянь статички, якою є ступінь статичної невизначеності балки. Тобто, їх кількість дорівнює кількості, так званих, «зайвих» невідомих («зайвих» зв'язків). Додаткові рівняння відображають умови сумісності деформацій.

Розрахунок статично невизначених балок можна виконати методом сил, зокрема, за допомогою рівняння «трьох моментів». Для використання цього методу потрібно правильно обрати, так звану, «основну систему». «Основна система» методу сил являє собою статично визначену, геометрично незмінну балку, отриману із заданої статично невизначеної балки шляхом відкидання «зайвих» зв'язків.

Дослідний зразок та схема устаткування

Схема лабораторного устаткування зображена на рис. 10.3. Сталева балка прямокутного поперечного перерізу спирається на опори **0** і **2**. Опори можна переміщувати, що дає можливість змінювати довжини прогонів l досліджуваної балки. В точці **1** підвішена шалька для ваги. Величина прогину балки вимірюється за допомогою індикатора годинникового типу, який встановлено також в точці **1**.

На консолях балки розміщено шальки для ваг. Переміщуючи їх, можна змінювати місце прикладання зовнішніх сил F .

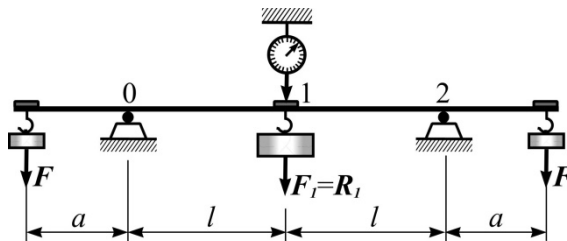


Рис. 10.3. Схема устаткування до лабораторної роботи № 10

При дії обох сил F на консолях балки (рис. 10.3), вісь



балки зігнеться і точка **1** переміститься вгору, що зафіксує індикатор. Такого переміщення не було б, якби в точці **1** балка спиралась на проміжну опору. Тому величина сили F_I , при дії якої вертикальне переміщення точки **1** буде відсутнє, дорівнюватиме реакції опори балки, встановленої в точці **1**.

Послідовність виконання роботи

1. Заміряти довжини прогонів балки l та довжину консолі a , результати записати в журнал (додаток А).

2. За допомогою методу сил (рівняння «трьох моментів») обчислити величину реакції середньої опори **1** від заданих сил F на консолях при умові, що балка спирається на опори в точках **0**, **1** і **2**.

3. Попередньо (до завантаження балки) встановити стрілку індикатора на нульову позначку.

4. Покласти вагу на шальки. Зафіксувати новий показ індикатора.

5. Обережно, слідкуючи за показами індикатора, навантажувати шальку, встановлену замість середньої опори **1**, до тих пір, поки стрілка індикатора не повернеться до початкового положення, тобто, до нуля. Вага на шальці буде точно дорівнювати величині реакції R_I середньої опори балки.

6. Порівняти теоретичне значення реакції R_I з її дослідним значенням. Визначити розбіжність між порівнюваними величинами.

7. Зробити висновки, в яких відмітити:

– як співвідносяться між собою дослідне та теоретичне значення реакції опори?

– чи можна застосовувати рівняння «трьох моментів» для розрахунку статично невизначених балок?

Контрольні запитання

1. Яка мета лабораторної роботи?
2. Які балки називають статично невизначеними?
3. Як визначається ступінь статичної невизначеності балки?
4. Яка ступінь статичної невизначеності балок, показаних



нижче на рис. 10.4?

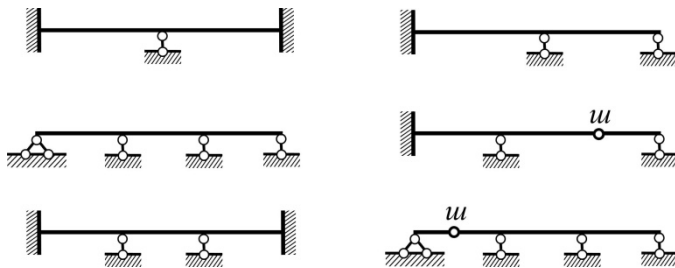


Рис. 10.4. Схеми статично невизначених балок

5. Який метод розрахунку статично невизначених балок Ви знаєте?

6. Що таке «основна система» методу сил? Намалуйте «основні системи» для зображених вище балок (рис. 10.4).

7. Запишіть рівняння «трьох моментів».

8. Яка величина знаходиться безпосередньо з досліду в цій лабораторній роботі?



11. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НАВСКІСНОГО ЗГИНУ БАЛКИ КУТИКОВОГО ПРОФІЛЮ

Мета роботи: дослідним шляхом перевірити розрахункові формули для визначення деформацій балки при навскісному згині; виявити особливості роботи балки при навскісному згині.

Короткі теоретичні відомості

Навскісний згин виникає у тому випадку, коли площина дії зовнішнього навантаження не збігається ні з однією з головних площин балки, тобто, площин, які проходять через головні центральні осі інерції поперечного перерізу (y) та (z) і поздовжню вісь x (рис. 11.1). При навскісному згині деформована вісь балки вже не буде лежати в площині дії навантаження, як це має місце у випадку прямого плоского згину. Звідси і пішла назва навскісний (косий) згин.

Розкладемо силу F на дві складові: F_y – вздовж осі y , F_z – вздовж осі z (рис. 11.2):

$$F_y = F \cdot \cos \alpha, \quad F_z = F \cdot \sin \alpha. \quad (11.1)$$

Кожна складова викликає прямий плоский згин балки. Таким чином, навскісний згин можна розглядати як суму двох прямих згинів у головних площинах. Завдяки цьому навскісний згин відносять до складної деформації.

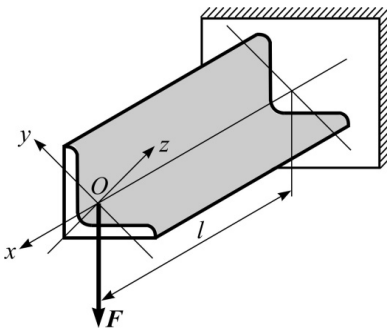


Рис. 11.1. Схема навантаження балки

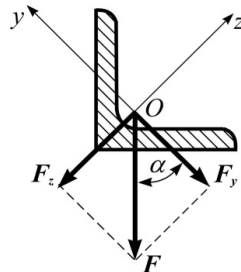


Рис. 11.2. Складові сили F вздовж головних осей



На основі принципу незалежності дії сил прогин балки при навскісному згині дорівнює геометричній сумі прогинів у напрямку головних центральних осей поперечного перерізу:

$$V = \sqrt{V_y^2 + V_x^2} . \quad (11.2)$$

Відомо, що принцип незалежності дії сил справедливий тільки у тих випадках, коли напруги та деформації матеріалу слідуєть закону Р. Гука і пружні переміщення балки малі у порівнянні з її розмірами. Звідси випливає, що дослідження навскісного згину необхідно проводити при навантаженнях, які викликають саме пружні деформації.

Для консольної балки (рис. 11.1):

$$V_y = \frac{F_y \cdot l^3}{3EI_z} ; \quad (11.3)$$

$$V_z = \frac{F_z \cdot l^3}{3EI_y} . \quad (11.4)$$

Підставивши (11.3) та (11.4) в (11.2), отримаємо теоретичне значення прогину V торцевого перерізу балки. Напрямок повного прогину визначається кутом β між головною віссю y та напрямком прогину V (рис. 11.3):

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \alpha \frac{I_z}{I_y} , \quad (11.4)$$

де α – кут між віссю y та вектором сили F .

Нейтральна лінія при навскісному згині перпендикулярна вектору повного прогину V (рис. 11.3). Вона проходить через ті чверті системи координат yoz , через які не проходить лінія дії сили F .

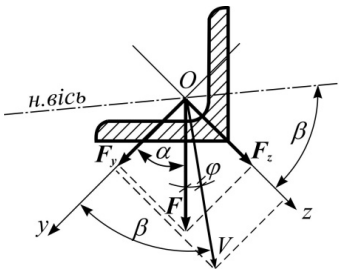


Рис. 11.3. Положення нейтральної лінії в перерізі балки

Дослідний зразок та схема устаткування

Дослідний зразок – це балка кутикового профілю (рівнополічний кутик), яка жорстко защемлена на одному краю (рис. 11.1).



Навантаження на балку здійснюється вагами, які підвищуються в точці, що збігається з центром ваги поперечного перерізу вільного кінця балки. Тому діюче навантаження завжди строго вертикальне.

Спеціальний пристрій дозволяє обертати балку навколо поздовжньої осі й тим самим змінювати кут α .

Олівець, встановлений в центрі ваги торцевого перерізу, викреслює на екрані напрям повного прогину і дає можливість визначити його дійсну величину.

Послідовність виконання роботи

1. Виміряти поперечні розміри балки, її довжину. За таблицею сортаменту (додаток Б, табл. 2) визначити номер профілю кутика та записати в журнал (додаток А) моменти інерції перерізу відносно головних центральних осей (I_z та I_y).

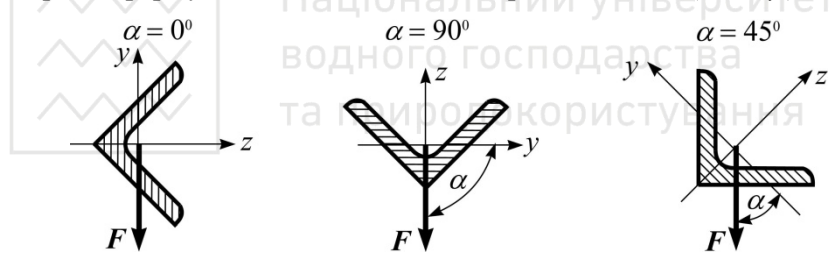


Рис. 11.4. Напрямок дії навантаження

2. Визначити прогин вільного кінця балки для трьох положень сили F ($\alpha = 0^\circ$; $\alpha = 90^\circ$; $\alpha = 45^\circ$) (рис. 11.4) за формулами (11.2), (11.3), (11.4).

3. Визначити дослідним шляхом прогин вільного кінця балки для тих самих положень сили F .

4. Порівняти числові значення прогинів, отриманих теоретичним та дослідним шляхами. Обчислити (в %) розбіжність між ними.

5. Зробити відповідні висновки, в яких відмітити наступне:



- як узгоджуються між собою теоретичні та дослідні значення прогинів?
- чи підтверджується принцип незалежності дії сил?
- чи можна застосовувати формули (11.3) та (11.4) для практичних розрахунків?

Контрольні запитання

1. Яка мета лабораторної роботи?
2. Який згин називають навіскісним? Наведіть приклади.
3. Яким повинен бути поперечний переріз балки, для якої навіскісний згин неможливий?
4. Як напрямлений повний прогин V по відношенню до напрямку сили F при прямому та навіскісному згинах?
5. Як визначається положення нейтральної лінії при навіскісному згині?
6. Як визначається напрямок повного прогину за відомим положенням нейтральної лінії?
7. Запишіть умову жорсткості при навіскісному згині.
8. Який порядок проведення лабораторної роботи?



12. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12

ДОСЛІДНЕ ВИВЧЕННЯ ПОЗАЦЕНТРОВОГО РОЗТЯГУ

Мета роботи: визначити дослідним шляхом величину нормальних напруг в крайніх точках поперечного перерізу сталю стержня при його позацинтровому розтягу та порівняти їх з напругами, знайденими теоретичним шляхом.

Короткі теоретичні відомості

Якщо на стержень прямокутного поперечного перерізу діє сила розтягу F , лінія дії якої збігається з поздовжньою віссю стержня OO_1 , то він зазнає центрального розтягу (рис. 12.1, а). Якщо лінію дії сили F змістити паралельно поздовжній осі на величину ексцентриситету e , то стержень буде знаходитися в стані складного опору. Цей стан зумовлений одночасною дією розтягувальної сили F та згинального моменту $M = Fe$ (рис. 12.1, б). У цьому випадку нормальні напруги розподіляються в поперечному перерізі нерівномірно.

Визначимо напругу, котра виникає у довільній точці поперечного перерізу стержня при позацинтровому розтягу.

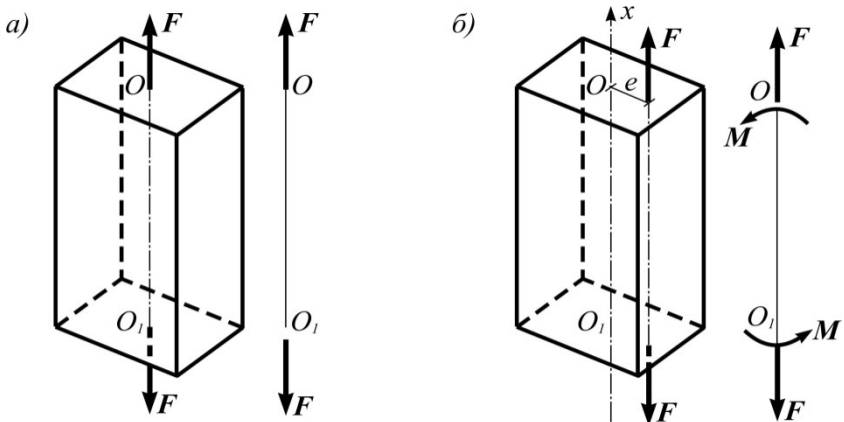


Рис. 12.1. Центральний і позацинтровий розтяг стержня



В зв'язку з тим, що в поперечних перерізах виникає поздовжня сила та згинальний момент, то в точках перерізу діють тільки нормальні напруги. Застосовуючи принцип незалежності дії сил, знайдемо:

$$\sigma = \sigma' + \sigma'' + \sigma''' , \quad (12.1)$$

де σ' – напруга, викликана дією сили F , прикладеною вздовж осі стержня:

$$\sigma' = \frac{F}{A}, \quad (12.2)$$

σ'' , σ''' – напруги, викликані дією згинальних моментів M_y та M_z в головних площинах:

$$\sigma'' = \frac{M_y \cdot z}{I_y}, \quad (12.3)$$

$$\sigma''' = \frac{M_z \cdot y}{I_z}. \quad (12.4)$$

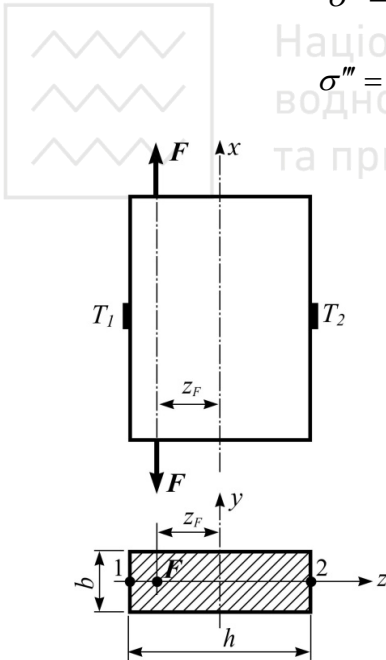


Рис. 12.2. Місце розташування полюса (точки прикладання сили)

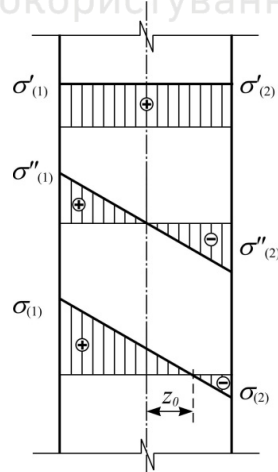


Рис. 12.3. Розподіл нормальних напруг в перерізі



У випадку позацентрального розтягу стержня, коли полюс сили знаходиться на осі z з координатами ($z_F; y_F = 0$) (рис. 12.2) нормальні напруги в крайніх точках **1** та **2** становлять:

$$\sigma'_{(1)} = \sigma'_{(2)} = \frac{F}{A}; \quad \sigma''_{(1)} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{F \cdot z_F}{W_y}; \quad \sigma''_{(2)} = -\frac{F \cdot z_F}{W_y};$$
$$\sigma'''_{(1)} = \sigma'''_{(2)} = 0.$$

Сумарні напруги в точках 1 та 2 будуть дорівнювати:

$$\sigma_{(1)} = \frac{F}{A} + \frac{F \cdot z_F}{W_y}, \quad (12.5)$$

$$\sigma_{(2)} = \frac{F}{A} - \frac{F \cdot z_F}{W_y}. \quad (12.6)$$

Розподіл напруг у поперечних перерізах добре ілюструють епюри, які побудовані для кожного з доданків (12.5) та (12.6) окремо (рис. 12.3).

На рис. 12.3 видно, що нейтральна лінія не проходить через центр маси поперечного перерізу, а пролягає від нього на деякій віддалі z_0 .

Зразок, вимірювальні прилади та випробувальна машина

Для дослідження розподілу напруг при позацентральному розтягу використовують зразок прямокутного поперечного перерізу, навантаження до якого прикладається з деяким ексцентриситетом z_F (рис. 12.2). Крім того, лінія дії сили лежить в головній площині xoz , що зумовлює чистий прямий згин.

Випробування виконуються на машині УМ-5А (рис. 2.4).

Дійсні напруги знаходяться за допомогою механічних тензометрів T_1 і T_2 (див. роботу № 2), встановлених на поверхні зразка в точках **1** та **2** відповідно (рис. 12.2).

Послідовність виконання роботи

1. Заміряти поперечні розміри b та h зразка. Обчислити



площу поперечного перерізу A , осьовий момент інерції I_y та осьовий момент опору W_y відносно головної центральної осі y . Отримані значення записати в журнал (додаток А).

2. Записати в журнал величину ексцентриситету z_F , а також характеристики механічного тензометра: базу тензометра l_m та ціну поділки шкали m_m .

3. Завантажити зразок і записати в журнал покази тензометрів. Величину навантаження задає викладач.

4. Обчислити середні прирощення відліків, взятих за шкалами обох тензометрів:

$$\Delta T_1^m = \frac{\sum \Delta T_1}{n}; \quad \Delta T_2^m = \frac{\sum \Delta T_2}{n}. \quad (12.5)$$

5. Обчислити величини відносних деформацій в точках 1 та 2:

$$\varepsilon_{(1)} = \frac{\Delta T_1^m \cdot m_m}{l_m}; \quad \varepsilon_{(2)} = \frac{\Delta T_2^m \cdot m_m}{l_m}. \quad (12.6)$$

6. Обчислити дослідні значення напруг в точках 1 та 2 зразка за формулами:

$$\sigma_{(1)} = \varepsilon_{(1)} \cdot E, \quad \sigma_{(2)} = \varepsilon_{(2)} \cdot E, \quad (12.7)$$

де E – модуль пружності матеріалу зразка.

7. Обчислити теоретичні значення напруг в точках 1 та 2 зразка за формулами (12.5) та (12.6).

8. Визначити розбіжність між теоретичними та дослідними значеннями напруг $\sigma_{(1)}$ та $\sigma_{(2)}$.

9. Зробити висновки.

Контрольні запитання

1. Яка мета лабораторної роботи?
2. Які внутрішні сили виникають в поперечних перерізах стержня при позacentровому розтягу (стиску)?
3. З яких простих деформацій складається позacentровий розтяг (стиск)?
4. Який принцип лежить в основі формул (12.5) та (12.6)?



5. Як залежить положення нейтральної лінії при позацентровому розтягу (стиску) від положення точки прикладання сили?

6. При якому положенні нейтральної лінії напруги в перерізі будуть лише одного знаку?

7. Що таке ядро перерізу? Яка його форма і розміри для прямокутного перерізу зі сторонами h і b ?

8. Яка послідовність виконання роботи?





13. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 13

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯВИЩА ВТРАТИ СТІЙКОСТІ СТИСНУТИМ СТЕРЖНЕМ

Мета роботи: на прикладі центрально стиснутого гнучкого сталюого стержня познайомитися з явищем втрати стійкості; дослідним шляхом знайти величину критичної сили для стиснутого стержня і порівняти її зі значенням, отриманим за формулою Ейлера.

Короткі теоретичні відомості

Суть явища втрати стійкості розглянемо на прикладі довгого гнучкого призматичного стержня (рис. 13.1).

На стержень вздовж його осі діє порівняно невелика стискаюча сила F . Якщо при будь-якому малому відхиленні стержня від стану рівноваги (рис. 13.1) (від початкового прямолінійного стану) він намагається повернутися до початкового стану і повертається до нього після припинення бокової зовнішньої дії, то початкова прямолінійна форма рівноваги стержня при цьому вважається **стійкою**.

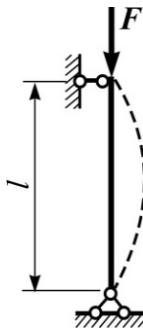


Рис. 13.1. Втрата стійкості стержня

Якщо сила F така, що стержень продовжує вигинатись у напрямку зовнішньої бокової дії і не повертається до початкової прямолінійної форми, то при такому навантаженні початкова прямолінійна форма рівноваги стержня **нестійка**. Стійкою буде саме нова, викривлена, форма рівноваги стержня.

Між станами стійкої та нестійкої рівноваги існує проміжний стан, названий **байдужим** або **критичним**.

У цьому стані стержень ще може зберігати прямолінійну форму рівноваги хоча і втрачає її від незначної бокової дії. Сила F , яка відповідає стану



байдужої рівноваги, називається **критичною силою** (F_{cr}).

Величина критичної сили визначається за узагальненою формулою Леонарда Ейлера (1707–1783):

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{(\mu \ell)^2}, \quad (13.1)$$

де $\mu \ell$ – приведена довжина стержня; I_{\min} – мінімальний момент інерції поперечного перерізу стержня.

Коефіцієнт приведеної довжини μ залежить від способу закріплення кінців стержня (рис. 13.2).

Формула (13.1) може застосовуватися лише за умови, що втрата стійкості настає при напругах, які не перевищують границю пропорційності матеріалу стержня, тобто:

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \leq \sigma_{pr}, \quad (13.2)$$

де λ – фактична гнучкість стержня.



Рис. 13.2. Значення коефіцієнта μ в залежності від закріплення стержня

З формули (13.2) можна визначити граничне значення гнучкості, при якому ще можливе застосування формули Ейлера, а саме:



$$\lambda_{\text{lim}} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_{pr}}} \quad (13.3)$$

Зразок, дослідне устаткування

На рис. 13.3 показана схема пристрою для дослідження втрати стійкості стержня.

Зразок – це сталевий пружний стержень 1 прямокутного поперечного перерізу. Опори 2 та 3 мають клиновидну форму і дозволяють моделювати різне закріплення стержня.

За теорією при осьовому стиску стержня силою, меншою за F_{cr} , викривлення стержня не повинно спостерігатися (рис. 13.4, а). Однак в наслідок неминучого ексцентриситету та початкового прогину стержня (нехай навіть малого), зразок вже при незначному навантаженні викривлюється (рис. 13.4, б, ділянка $a - b$).

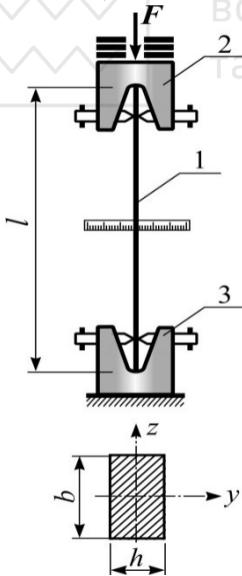


Рис. 13.3. Схема устаткування до лабораторної роботи № 13

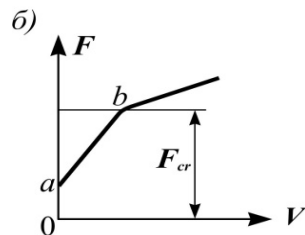
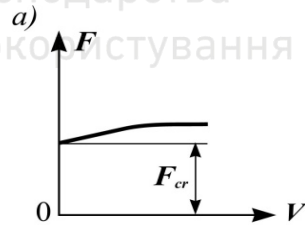


Рис. 13.4. Залежність деформації стержня від навантаження



Тому за результатами досліду будується графік залежності деформацій стержня від навантаження – (F, V) , а вже з графіка знаходиться F_{cr} , як показано на рис. 13.4, б.


Послідовність виконання роботи

1. Виміряти довжину та розміри поперечного перерізу зразка. Обчислити площу поперечного перерізу: $A = b \cdot h$.

2. Обчислити мінімальний осьовий момент інерції перерізу за формулою :

$$I_{min} = I_z = \frac{bh^3}{12} . \quad (13.4)$$

3. Обчислити мінімальний радіус інерції перерізу за формулою :


$$i_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}} . \quad (13.5)$$

4. Обчислити гнучкість стержня:

$$\lambda = \frac{\mu \ell}{i_{min}} . \quad (13.6)$$

5. Порівняти отримане значення гнучкості стержня з граничною величиною, щоб переконатися в можливості застосування формули (13.1) для визначення значення критичної сили.

6. Визначити за формулою (13.1) величину критичної сили.

7. Обчислити критичну напругу:

$$\sigma_{cr} = \frac{F_{cr}}{A} . \quad (13.7)$$

7. Провести дослід, побудувати графік у координатах $(F - V)$, визначити з графіка F_{cr} .

8. Обчислити розбіжність між теоретичним та дослідним значеннями F_{cr} .

9. Зроби висновки.



Контрольні запитання

1. Яка мета роботи?
2. Яку силу називають критичною?
3. За якою формулою визначають критичне значення сили?
4. Які межі застосування формули Ейлера?
5. Як обчислити гнучкість стержня? Чи залежить вона від властивостей матеріалу?
6. Що називають граничною гнучкістю стержня?
7. Намалюйте схеми закріплення стержнів, для яких коефіцієнт приведеної довжини (μ) дорівнює: 0,5; 0,7; 1; 2.





14. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 14

ВИПРОБУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ НА УДАР

Мета роботи: визначити величину ударної в'язкості для сталі при поперечному ударі.

Короткі теоретичні відомості

Під час експлуатації різних деталей машин та елементів будівельних конструкцій трапляються випадки, коли вони піддаються ударним навантаженням. Для оцінки здатності металів опиратися таким навантаженням проводять динамічні дослідження, які ще називають ударною пробою.

Ударна проба надрізаних зразків широко застосовується також для контролю якості плавлення металів, зварних швів, працездатності металів при низьких та високих температурах та в цілому ряді інших випадків.

Виключна складність явища руйнування зразка ускладнює порівняння результатів дослідження матеріалів, проведених в різних умовах. Тому намагаються забезпечити подібність умов випробувань.

Суть ударної проби надрізаного зразка полягає у вимірюванні роботи W , необхідної для його руйнування шляхом ударного згину. Частку від ділення величини цієї роботи на площу робочого перерізу зразка (найбільш ослабленого поперечного перерізу) приймають за характеристику матеріалу і називають ударною в'язкістю:

$$a = \frac{W}{A} . \quad (14.1)$$

Величина роботи руйнування визначається як різниця потенціальних енергій маятника на початку випробувань W_1 та залишкової енергії маятника після руйнування W_2 :

$$W = W_1 - W_2 . \quad (14.2)$$



Ударна в'язкість є умовною характеристикою і не може бути використана безпосередньо у чистому вигляді при виконанні розрахунків на міцність. Однак, вона характеризує матеріал у якісному відношенні і є однією з основних його характеристик.

Зразки, вимірвальні прилади та випробувальна машина

Для випробувань використовують сталеві зразки з напівкруглими надрізами (рис. 14.1).

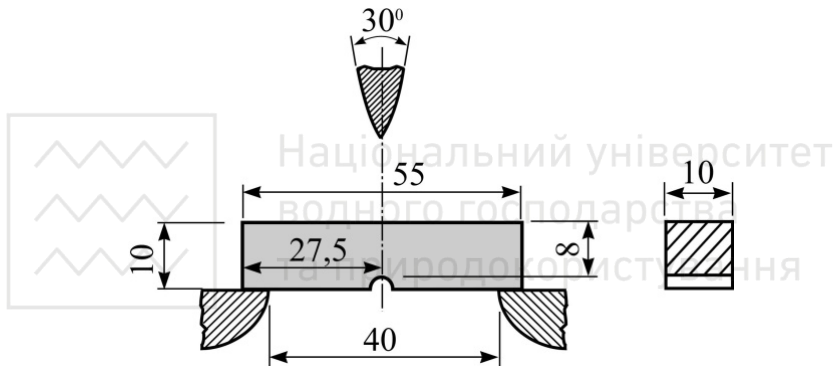


Рис. 14.1. Схема устаткування до лабораторної роботи № 14

Надріз потрібен для того, щоб зробити умови роботи матеріалу по відношенню до ударних навантажень більш важкими. Надріз значно послабить переріз посередині зразка і збільшить напругу згинання на невеликій довжині зразка. Майже вся енергія удару поглинається невеликим об'ємом матеріалу в зоні місцевого послаблення, що й спричиняє різке збільшення динамічних напруг. Крім того, наявність надрізу збуджує місцеву концентрацію напруг, що приводить до утворення схеми об'ємного напруженого стану – всебічного розтягання, при якому утруднюються пластичні деформації, і матеріал у місці надрізу стає крихким.

Отже, наявність надрізу допомагає розділити матеріали на



більш чутливі до несприятливої дії динамічних навантажень і менш чутливі.

Випробування на ударну в'язкість проводять на маятниковому копрі МК-30А (рис. 14.2).



Рис. 14.2. Маятниковий копер МК-30А

Технічні характеристики маятникового копра МК-30А

Призначений для випробувань на ударну в'язкість металевих зразків при нормальній температурі.

Маса копра – **249 кг**.

Гранична енергія маятника – **30 кгм (300 Дж)**.

Відстань між опорами **від 40 до 100 мм**.

Кут профілю ножа – **45°**.

Вильот маятника в обидва боки – **2170 мм**.

Ціна поділки шкали – **0,2 кгм (2 Дж)**.

В таблиці 14.1 наведено значення ударної в'язкості деяких марок сталей.



Значення ударної в'язкості

Марка сталі	10	25	30	35	40	45	50
Ударна в'язкість (КДж/м ²)	2400	900	800	700	600	50	40

Послідовність виконання роботи

1. Відхилити маятник в бік і встановити на опори зразок. Маятник повинен торкатися зразка точно проти надрізу з протилежного боку (рис. 14.3).

2. Підняти маятник вгору і зафіксувати його в такому положенні. Записати в журнал (додаток А) запас потенціальної енергії W_1 . Відпустити ручні гальма і звільнити маятник. Маятник прийде в рух і зруйнує зразок (рис. 14.4).

3. Після руйнування записати в журнал величину залишкової енергії W_2 .

4. Визначити витрачену на руйнування зразка роботу за формулою (14.2).

5. Обчислити площу поперечного перерізу зразка в місці надрізу.

6. Визначити ударну в'язкість матеріалу зразка за формулою (14.1).

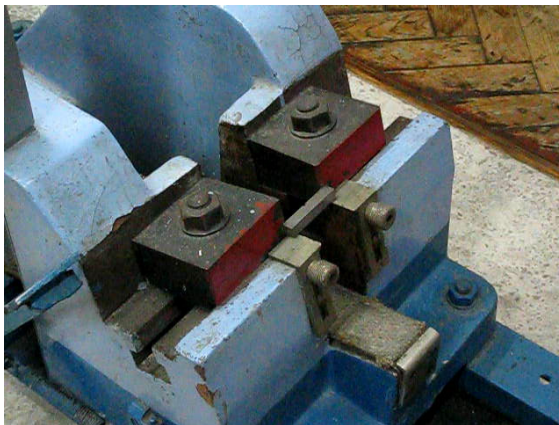


Рис. 14.3. Зразок на опорах маятнікового копра МК-30А

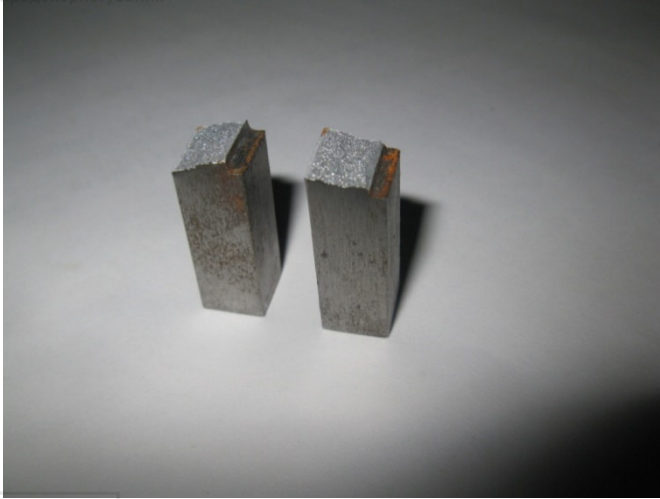


Рис.14.4. Стальний зразок після випробування

Контрольні запитання

1. Яка мета лабораторної роботи?
2. Що називають ударною в'язкістю матеріалу?
3. Як визначити роботу, затрачену на руйнування зразка?
4. Чому ударна в'язкість є умовною характеристикою?
5. Що характеризує величина ударної в'язкості матеріалу?
6. Який порядок проведення випробувань?



15. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 15

ВИПРОБУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ НА ВИТРИВАЛІСТЬ

Мета роботи: ознайомитися з методами визначення границі витривалості для металів при симетричному циклі зміни напруг.

Короткі теоретичні відомості

Експлуатація машин, будівель та споруд вказує на те, що у випадках циклічної (періодичної) зміни напруг їх елементи раптово руйнуються навіть тоді, коли робочі напруги були значно нижчими від границі пружності. Підраховано, що більше 80% усіх випадків експлуатаційного руйнування виникають в результаті циклічного навантаження. Тому такому руйнуванню дали особливу назву – «втомленість».

Втомленість – це процес поступового накопичення пошкоджень в матеріалі під дією циклічних напруг, який призводить до утворення тріщин та руйнування.

Здатність матеріалів опиратися втомному руйнуванню називають витривалістю матеріалів.

Для оцінки витривалості матеріалів на протязі тривалого проміжку часу їх роботи необхідно проводити випробування в умовах, близьких до експлуатаційних.

Досліди показують, що для кожного металу існує певне максимальне значення циклічної напруги, при якій він не руйнується протягом базової кількості повторень цієї напруги. Таку напругу називають **границею витривалості**.

Границя витривалості є самостійною фізико-механічною характеристикою матеріалу, не пов'язаною певним чином ні з границею пружності, ні з іншими механічними характеристиками.

Сучасні методи випробувань на витривалість різноманітні. Частіше за все використовують симетричні цикли зміни напруг в часі (рис. 15.1).

Найбільш поширена схема навантаження (схема 1) –



поперечний згин зразка при його обертанні навколо своєї осі (зразок як консольна балка з навантаженням на вільному кінці).

Інша схема (схема 2) – чистий згин зразка (зразок як балка на двох опорах). У цьому випадку навантаження прикладається в двох точках на однаковій відстані від опор, що забезпечує постійність згинального моменту на всій ділянці l зразка (рис. 15.3).

Випробування на витривалість проводять при різних температурах і в різних середовищах.

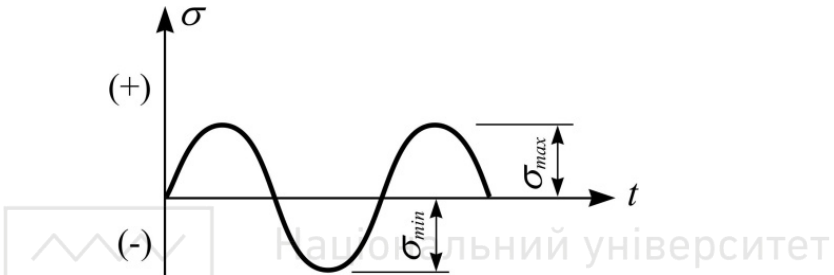


Рис. 15.1. Симетричний цикл зміни напруження

Зразки, вимірювальні прилади та випробувальні машини

Випробування зразків за першою схемою навантаження виконується на випробувальній машині УКИ-6000-2 (рис. 15.2).



Рис. 15.2. Випробувальна машина УКИ-6000-2



Технічні характеристики машини УКИ-6000-2

Призначена для випробування зразків з металів та їх сплавів на витривалість при консольному згині.

Кількість зразків, що одночасно випробовуються – 2.

Робочий діапазон навантажень – від **0,5 до 100 кгс (5–1000 Н)**.

Кількість ступенів зміни частоти випробувального навантаження – **2 (3000, 6000 об/хв)**.

Маса машини – **550 кг**.

Для випробування зразків на витривалість за другою схемою навантаження в лабораторії застосовують випробувальну машину типу МВП-10000. Її принципова схема і схема встановлення зразка показані на рис. 15.3. В цій машині зразок обертається навколо своєї поздовжньої осі та одночасно згинається. Таким чином моделюється симетричний цикл зміни напруг при чистому згині.

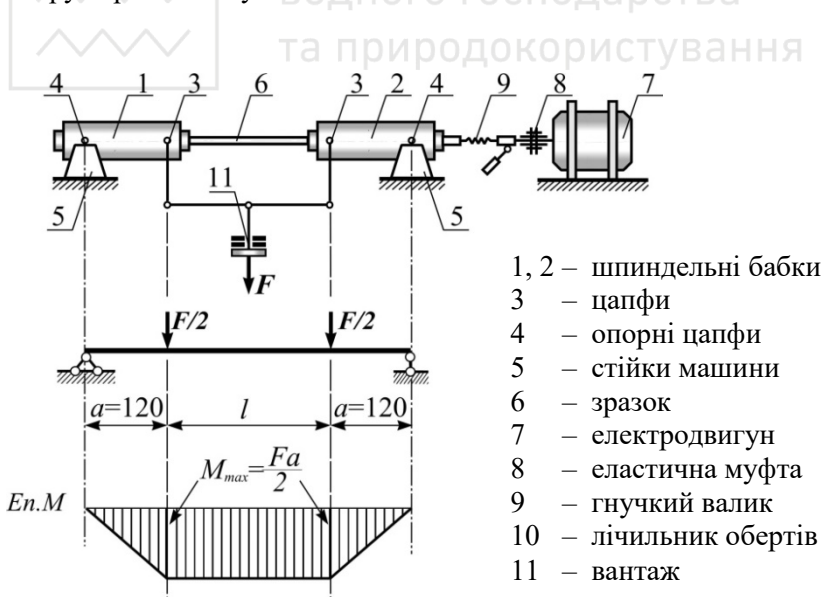


Рис. 15.3. Схема устаткування до лабораторної роботи № 15



Зразки для випробувань на витривалість (рис. 15.2) виготовляють за другим класом точності. Поверхня робочої частини зразка повинна бути дзеркальною, якщо інші вимоги не передбачені умовами випробувань. Для отримання порівнюваних результатів випробування проводять на однакових за якістю виготовлення, розмірами, формою зразках.

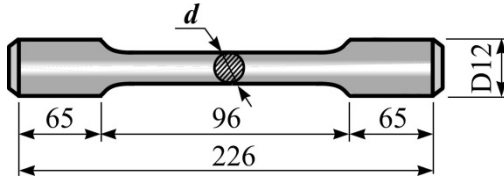


Рис. 15.4. Зразок для випробування

Послідовність визначення границі витривалості при симетричному циклі зміни напруг

1. Випробовують серію зразків (не менше 10) однакових розмірів, форми і якості обробки.

Перший зразок навантажують так, щоб викликати у ньому напругу, яка складає 60% від границі міцності матеріалу:

$$\sigma_{(1)} = \sigma_{\max, \min} = 0,6\sigma_u. \quad (15.1)$$

2. Величина навантаження (рис. 15.3) визначається за формулою:

$$F = \frac{0,6\pi d^3 \sigma_u}{16a}, \quad (15.2)$$

де d – діаметр робочої зони зразка; a – відстань від опор до точок прикладання навантаження (рис. 15.3).

3. Зразок доводять до руйнування, яке настає при кількості циклів зміни напруг, яка дорівнює N_1 .

4. Наступний зразок випробовують при напрузі, яка менша від попередньої на $(30 \div 40)$ МПа. Знову доводять його до руйнування, і фіксують кількість циклів N_2 .



5. Знижуючи напругу від зразка до зразка, досягають такого моменту, коли черговий зразок витримає базове число циклів навантаження N_B (для металів та сплавів, які мають горизонтальну ділянку на кривій витривалості $N_B = 10^7$; для легких сплавів, металів і сплавів, які не мають горизонтальної ділянки на кривій – $N_B = 10^8$).

6. За одержаними даними будується крива витривалості (крива Велера) (рис. 15.5).

7. За допомогою кривої витривалості визначають границю витривалості при симетричному циклі (σ_{-1}).

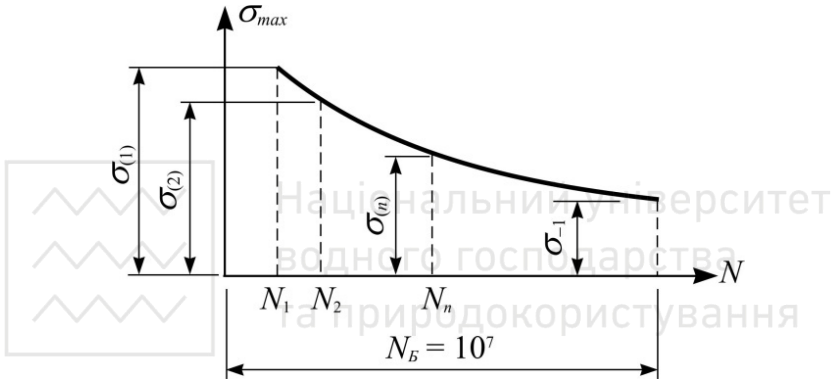


Рис. 15.4. Крива витривалості

Контрольні запитання

1. Зобразити графічно такі цикли зміни напруг: симетричний; асиметричний; пульсуючий.
2. Що таке максимальна напруга циклу?
3. Що таке мінімальна напруга циклу?
4. Що таке амплітуда циклу?
5. Що називається коефіцієнтом асиметрії циклу?
6. Яке значення коефіцієнта асиметрії при симетричному циклі зміни напруг?
7. Яке значення коефіцієнта асиметрії при пульсуючому (віднульовому) циклі зміни напруг?
8. Що таке втомленість?
9. Що таке витривалість?
10. Що називають границею витривалості?



16. ОСОБЛИВОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ ПРИ ЗАОЧНО-ДИСТАНЦІЙНОМУ НАВЧАННІ СТУДЕНТІВ

Студенти денної форми навчання виконують перелічені вище лабораторні роботи безпосередньо в лабораторії кафедри. А як організувати проведення таких занять з тими студентами, для яких навчання є заочно-дистанційним?

На кафедрі мостів і тунелів, опору матеріалів і будівельної механіки Національного університету водного господарства та природокористування (НУВГП) вирішення цієї проблеми здійснюється двома шляхами:

1 – за допомогою навчальних фільмів, створених викладачами кафедри при участі відділу технічних засобів навчання (ТЗН) університету;

2 – за допомогою настільних лабораторних установок, зроблених силами співробітників кафедри.

Перший варіант використовується тоді, коли при виконанні лабораторних робіт задіяні великогабаритні установки або випробувальні машини. Так, наприклад, лабораторна робота № 8 «Визначення напруг при чистому згині балки» виконується за допомогою установки, показаної на рис. 8.3.

Всі необхідні теоретичні пояснення щодо проведення цієї лабораторної роботи, підготовка до її виконання і сам процес виконання, а також заключні висновки за результатами порівняння даних експерименту та теоретичних розрахунків продемонстровано в навчальному фільмі, зробленому в форматі mp4 тривалістю 16 хвилин (фрагменти фільму показано на рис. 16.1).

Показ його здійснюється під час online-зв'язку з студентами заочно-дистанційної форми навчання, які після його перегляду можуть задати питання викладачу. Для кращого розуміння і засвоєння матеріалу студенти можуть повторити перегляд фільму в любий вільний для себе час.

Аналогічно можна здійснити виконання і лабораторної роботи № 1 «Визначення основних механічних характеристик на розтяг».



Рис. 16.1. Фрагменти фільму



Переглянути фільми по виконанню цих лабораторних робіт можна, якщо зайти в репозиторій НУВГП за наступними посиланнями:

лабораторна робота № 1 –

<https://drive.google.com/file/d/1G2qA7KoyGYNAbX55BS3e-OtHcm5OMIgr/view>

лабораторна робота № 8 –

https://drive.google.com/file/d/1DqugbGTXSVEZQjv_3rjCYcgU4dlBtdEY/view

Другий варіант проведення лабораторних занять застосовується, коли в приміщенні університету, звідки ведеться online-зв'язок, можна встановити невелику за розмірами настільну лабораторну установку і провести всі необхідні дослідження за участю глядачів-студентів.

На рис. 16.2 показано саме таку лабораторну установку, яка служить для дослідження прямого та навскісного згину консольної балки при різних кутах нахилу площини дії зовнішнього навантаження.

Перевагами цього настільного переносного приладу є те, що:

- випробувальний елемент установки знімний, що дозволяє проводити випробування балок з різним поперечним перерізом (двотавр, кутник, швелер).
- поворотний механізм установки дає можливість задавати любий кут нахилу зовнішньої сили до головної центральної осі поперечного перерізу балки.
- спеціальний механізм дозволяє відрегулювати положення радіальної шкали по відношенню до центра ваги поперечного перерізу балки.
- конструкція установки дає можливість перейти від групового навчання до індивідуального.

Розроблені на кафедрі лабораторні установки і зняті за їх участю фільми можуть знайти широке застосування в навчальних закладах, які готують фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» з обов'язковим вивченням навчальної дисципліни «Опір матеріалів».

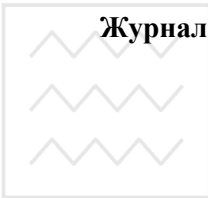


Рис.16.2. Установа для дослідження прямого та навскісного згину консольної балки



Національний університет
водного господарства
та природокористування

ДОДАТОК А



Журнал лабораторних робіт з опору матеріалів

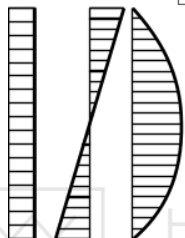
Національний університет
водного господарства
та природокористування



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Кафедра мостів і тунелів, опору матеріалів
і будівельної механіки

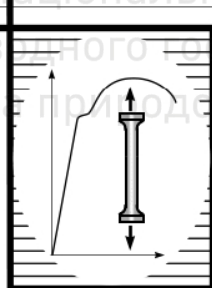
ЖУРНАЛ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З ОПОРУ МАТЕРІАЛІВ



Студент _____
(прізвище, і.ф., по батькові)

Курс _____ група _____

Інститут _____



- Випробування та визначення фізико-механічних характеристик різних матеріалів
- Вивчення напружено-деформованого стану елементів конструкцій

Журнал лабораторних робіт з опору матеріалів
(Андрušков В.І. – Рівне : НУВГП, 2021. – 39 с.)

У п о р я д н и к и : В.І. Андрušков, к.т.н., доцент

Відповідальний за випуск:

Трач В.М., доктор технічних наук,
професор, завідувач кафедри
мостів і тунелів, опору
матеріалів і будівельної механіки



У м о в н і п о з н а ч е н н я

- F – *force* (англ.) – сила ;
- F_{cr} – критична сила (*critical* (англ.) – критичний);
- ΔF_m – середнє значення прирощення сили (*middle*(англ.) – середній);
- A – *area* (англ.) – площа;
- σ_{pr} – границя пропорційності (*proportional* (англ.) пропорційний);
- σ_y – границя текучості (*yield* (англ.) – текучість);
- σ_u, τ_u – границя міцності або тимчасовий опір (*ultimate* (англ.) – граничний);
- $\sigma_{u,t}$ – границя міцності при розтязі (*tension* (англ.) – розтяг);
- σ_{con} – напруга зім'яття або контактна напруга (*contact* (англ.) – контакт);
- σ_{cr} – критична напруга;
- Δl – абсолютна деформація;
- ε – відносна деформація;
- ε_r – залишкове відносне подовження при розтязі (*rest* (англ.) – залишок);
- ψ_r – залишкове відносне звуження при розтязі;
- ν – коефіцієнт поперечної деформації (коефіцієнт Пуассона);
- u – прогин перерізу балки;
- θ – кут повороту перерізу балки;
- E – модуль пружності першого роду (модуль Юнга);
- G – модуль пружності другого роду (модуль зсуву);
- T – крутний момент (*torsion* (англ.) – кручення);
- W – *work* (англ.) – робота зовнішніх сил;
- a – питома ударна в'язкість матеріалу.



В И Т Я Г з інструкції Код _____ № _____

з охорони праці для студентів при виконанні лабораторних робіт в лабораторії кафедри

З метою запобігання нещасних випадків при виконанні лабораторних робіт студенти зобов'язанні виконувати наступні правила:

1. Будьте уважні і дисципліновані, точно виконуйте вказівки викладача.

2. Забороняється приступати до виконання лабораторної роботи без інструктажу з техніки безпеки.

3. Не починайте виконувати лабораторну роботу без дозволу викладача або лаборанта.

4. Розміщуйте прилади, обладнання на своєму робочому місці так, щоб запобігти їх падінню або перекиданню.

5. Перед виконанням лабораторної роботи необхідно уважно вивчити її зміст і хід виконання.

6. Виконуйте тільки ту роботу, що передбачена завданням або доручена викладачем.

7. Не відволікайтесь самі та не відволікайте інших від роботи сторонніми розмовами.

8. Під час проведення дослідів не допускайте граничних навантажень випробувальних машин, установок, вимірювальних приладів.

9. Стежте за справністю всіх кріплень у пристроях і приладах. Не доторкайтесь до обертових частин машин і не нахиляйтесь над ними.

10. Перед пуском випробувальних машин, установок перевірте наявність і справність захисних щитків, сіток на деталях, які обертаються.

11. Побачивши несправність в електричних пристроях, що перебувають під напругою, негайно повідомте про це викладачу.

12. Особлива обережність і увага потрібна при роботі з маятниковим копром.

13. Забороняється вмикати випробувальні машини, установки, вимірювальні прилади без дозволу викладача або лаборанта.

14. Вхід і розміщення студентів в лабораторії без викладача або лаборанта забороняється.

15. Після закінчення роботи студент повинен привести в порядок своє робоче місце, прилади, обладнання.

16. У разі виявлення пожежі негайно повідомте про це викладача або лаборанта і виконуйте їх вказівки.

Підпис студента _____ «__» _____ 20__ р.



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛІ НА РОЗТЯГ

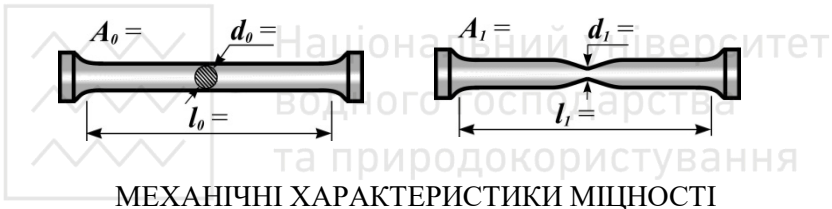
Мета роботи:

Назва випробувальної машини:

Ескізи зразка з розмірами:

до початку досліду

після досліду



МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МІЦНОСТІ

Характерні точки діаграми	Сила F , ()	Залишкова деформація, $\Delta \ell$, ()	Напруга σ , (МПа)
1 – відповідає границі пропорційності	$F_{pr} =$	–	$\sigma_{pr} =$
2 – відповідає границі текучості	$F_y =$	$\Delta \ell_y =$	$\sigma_y =$
3 – відповідає границі міцності	$F_u =$	$\Delta \ell_u =$	$\sigma_u =$
4 – відповідає моменту розриву	$F_{\kappa} =$	$\Delta \ell =$	$\sigma_{\kappa} =$

Дійсна напруга в момент розриву:

$$\sigma_d = \frac{F_{\kappa}}{A_1} = \text{-----} =$$



МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАСТИЧНОСТІ

Назва	Числове значення
Залишкове відносне подовження	$\varepsilon_r = \frac{\ell_1 - \ell_0}{\ell_0} \cdot 100\% =$
Залишкове відносне звуження	$\psi_r = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \cdot 100\% =$

ХАРАКТЕРИСТИКИ В'ЯЗКОСТІ

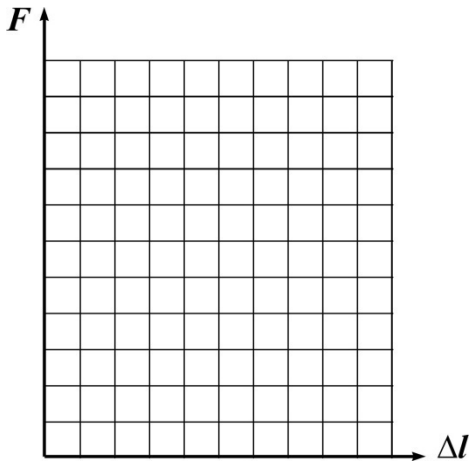
Робота, що витрачена на руйнування зразка:

а) повна $W = F_u \cdot \Delta \ell_r \cdot \eta =$



$$a = \frac{W}{V_0} =$$

ДІАГРАМА РОЗТЯГУ





ВИСНОВКИ:

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 1

1. Що називається умовною границею текучості матеріалу?
2. Що таке «наклеп»?
3. В чому полягає різниця між дійсною та умовною діаграмами розтягу матеріалів?
4. Що характеризує питома робота руйнування зразка?



«_____» _____ 20__ р. Підпис керівника _____



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

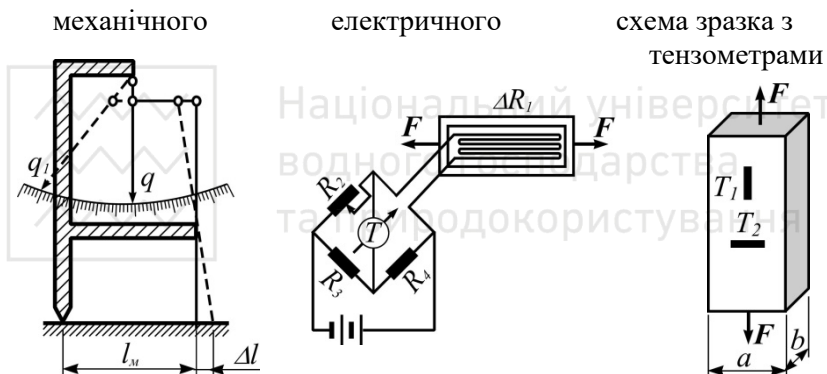
ВИЗНАЧЕННЯ ПРУЖНИХ СТАЛИХ СТАЛІ ПРИ РОЗТЯГУ

Мета роботи:

Назва випробувальної машини:

Матеріал зразка:

Схеми тензометрів



Характеристики	Тензометр		Розміри зразка
	механічний	електричний	
Довжина бази	$l_m =$	$l_e =$	$a =$ $b =$
Ціна поділки шкали приладу	$m_m =$	$m_e =$	$A =$



Таблиця спостережень

Навантаження ()		Напруга ()		Відлік за шкалою тензومتра				Середнє значення прирошень
				поздовжній		поперечний		
F	ΔF	σ	$\Delta \sigma$	T_1	ΔT_1	T_2	ΔT_2	
								$\Delta F_m =$
								$\Delta \sigma_m =$
								$\Delta T_1^m =$
								$\Delta T_2^m =$

Результати дослідів:

Середнє прирощення відносної поздовжньої деформації		$\Delta \varepsilon_1 =$
Середнє прирощення відносної поперечної деформації		$\Delta \varepsilon_2 =$
Коефіцієнт Пуассона	За даними дослідів	$\nu_{дос} =$
	За довідковими даними	$\nu_{табл} =$
Модуль пружності	За даними дослідів	$E_{дос} =$
	За довідковими даними	$E_{табл} =$

ВИСНОВКИ:



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 2

1. Який фізичний та геометричний зміст модуля пружності E ?
2. Які властивості матеріалу характеризує коефіцієнт Пуассона?
3. Як за даними тензометрії визначити абсолютну та відносну деформації?
4. Одиниці виміру σ та E однакові. В чому ж їх різниця?



« _____ » _____ 20__ р. Підпис керівника _____



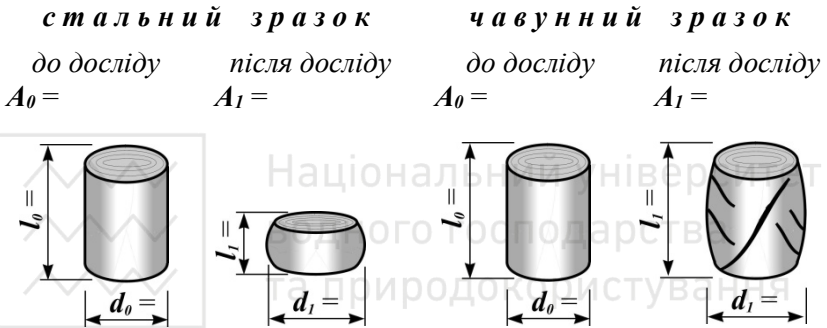
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

ВИПРОБУВАННЯ СТАЛІ ТА ЧАВУНУ НА СТИСК

Мета роботи:

Назва випробувальної машини:

Схеми зразків до та після досліду:



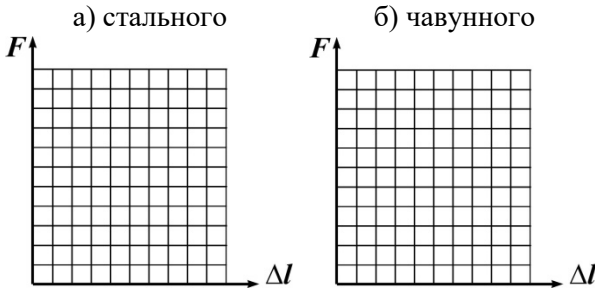
Результати досліду

Характерні точки діаграми	Сила F , ()	Абсолютна деформація Δl , ()	Відносна деформація ε , %	Напруга σ , ()
Для сталюого зразка				
відповідає границі пропорційності	$F_{pr} =$	$\Delta l_{pr} =$	$\varepsilon_{pr} =$	$\sigma_{pr} =$
відповідає завершенню досліду	$F_k =$	$\Delta l_k =$	$\varepsilon_k =$	$\sigma =$
Для чавунного зразка				
відповідає границі міцності	$F_{u,e} =$	$\Delta l_u =$	$\varepsilon_u =$	$\sigma_{u,e} =$



Діаграми стиску зразків:

ВИСНОВКИ:



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДО
ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 3

1. Які механічні характеристики міцності одержують при випробуваннях на стиск: а) пластичних матеріалів; б) крихких матеріалів?
2. Чим пояснюється бочкоподібна форма сталюого та чавунного зразків по завершенні випробування?
3. Чим пояснюється руйнування чавунних зразків по площині, що проходить під кутом 45° до осі зразка?
4. Як за результатами випробувань пластичних та крихких матеріалів на стиск можна визначити величину допустимих напруг?

« _____ » _____ 20__ р. Підпис керівника _____



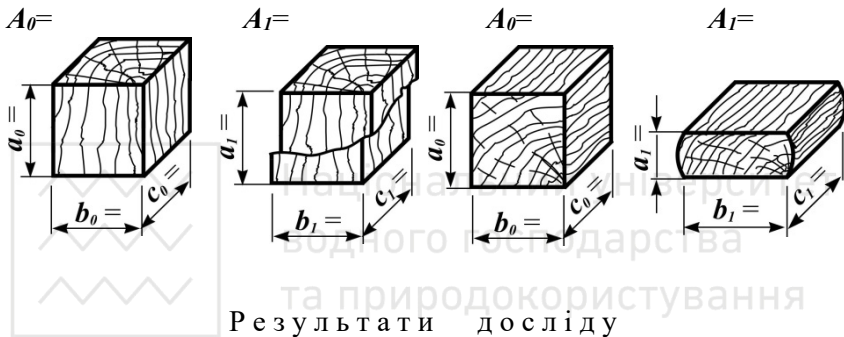
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ВИПРОБУВАННЯ ДЕРЕВИНИ НА СТИСК

Мета роботи:

Назва випробувальної машини:

Схема зразків до та після досліді:



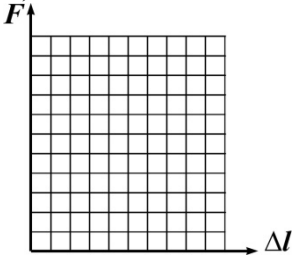
Характерні точки діаграми	Сила F , ()	Абсолютна деформація Δl , ()	Відносна деформація ε , %	Напруга σ , ()
В з д о в ж в о л о к о н				
відповідає границі міцності	$F_{u,c} =$	$\Delta l_u =$	$\varepsilon_u =$	$\sigma_{u,c} =$
П о п е р е к в о л о к о н				
відповідає границі пропорційності	$F_{pr} =$	$\Delta l_{pr} =$	$\varepsilon_{pr} =$	$\sigma_{pr} =$
відповідає границі міцності	$F_{u,c} =$	$\Delta l_u =$	$\varepsilon_u =$	$\sigma_{u,c} =$



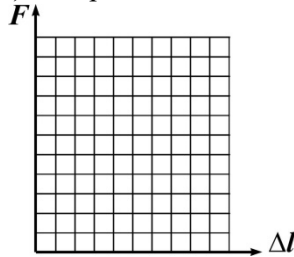
Діаграми стискування зразків:

ВИСНОВКИ:

а) вздовж волокон



б) поперек волокон



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 4

1. Які матеріали називають анізотропними? Наведіть приклади.
2. Які механічні характеристики міцності одержують при випробуванні деревини на стиск: а) вздовж волокон; б) поперек волокон?
3. Що називається границею міцності при випробуванні деревини на стиск поперек волокон?
4. В якому напрямку деревина міцніша при стиску: вздовж чи поперек волокон?

« _____ » _____ 20__ р. Підпис керівника _____



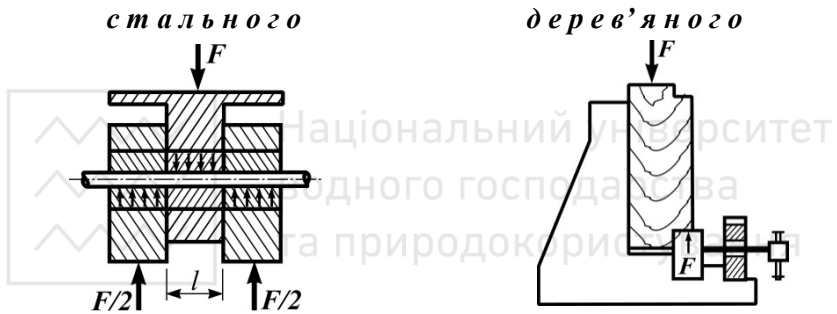
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

ВИВЧЕННЯ ДЕФОРМАЦІЇ ЗРІЗУ СТАЛІ ТА СКОЛЮВАННЯ ДЕРЕВИНИ

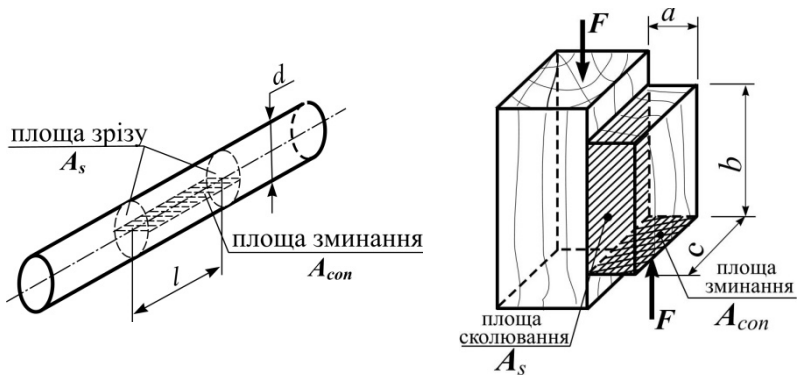
Мета роботи:

Назва випробувальної машини:

Схеми встановлення зразків:



Зображення зразків в аксонометрії із зазначенням площин змінання і зрізу (сколювання)





Результати дослідів

Матеріал зразка	Сталь	Деревина
Площа зрізу (сколювання)	$A_s =$	$A_s =$
Площа зминання	$A_{con} =$	$A_{con} =$
Руйнуюча сила зрізу (сколювання)	$F =$	$F =$
Границя міцності при зрізі (сколюванні)	$\tau_u =$	$\tau_u =$
Напруга зминання в момент руйнування	$\sigma_{con} =$	$\sigma_{con} =$

ВИСНОВКИ:

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 5

1. Які механічні характеристики визначають при випробуванні на зсув?
2. Яке співвідношення між границею міцності сталі при розтягу та зрізі?
3. Наведіть приклади роботи на зсув металевих і дерев'яних деталей.

« _____ » _____ 20__ р. Підпис керівника _____

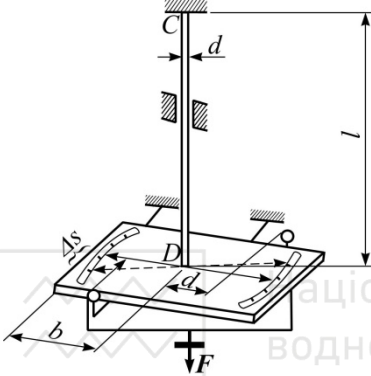


ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

КРУЧЕННЯ СТАЛЬНОГО БРУСА КРУГЛОГО ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ

Мета роботи:

Схема установки:



Характеристики установки:

Довжина вала	$l=$
Діаметр вала	$d=$
Відстань від осі вала до точок прикладання навантаження	$a=$
Відстань від осі вала до шкал	$b=$
Полярний момент інерції перерізу вала	$I_p=$

Таблиця спостережень

Величина навантаження ()	Крутний момент ()		Величини дуг закручування, (см)			
			ліва шкала		права шкала	
F	T	ΔT	S	ΔS	S	ΔS

Результати дослідів

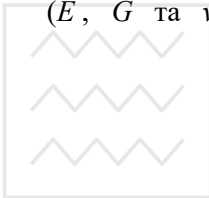
Середнє значення прирощення відліку по шкалам		$\Delta S_m =$
Середнє прирощення крутного моменту		$\Delta T_m =$
Середнє прирощення кута закручування		$\Delta \varphi_m =$
Модуль зсуву, G	за даними дослідів	$G_{дос.} =$
	за довідковими даними	$G_{табл.} =$



ВИСНОВКИ:

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 6

1. Який характер руйнування зразків з крихких та пластичних матеріалів при крученні?
2. Як виглядатиме діаграма випробування сталевого стержня в координатах навантаження-деформація ($T - \varphi$) за даними досліджу?
3. Які властивості матеріалів характеризує модуль зсуву?
4. Який зв'язок між пружними сталими величинами матеріалу (E , G та ν)?



« _____ » _____ 20__ р. Підпис керівника _____

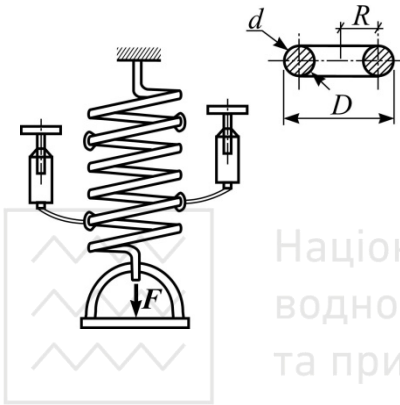


ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФОРМАЦІЇ ГВИНТОВОЇ ПРУЖИНИ

Мета роботи:

Схема установки:



Характеристика пружини:

Матеріал	
Модуль зсуву	$G =$
Зовнішній діаметр	$D =$
Розрахунковий радіус витка	$R = \frac{D-d}{2} =$
Число витків	$n =$
Крок витка	$a =$
Діаметр дроту	$d =$
Довжина дроту	$\ell =$
Полярний момент інерції	$I_p =$

Таблиця спостережень

Навантаження ()		Відлік по лівій шкалі ()		Відлік по правій шкалі ()	
F	ΔF	λ	$\Delta\lambda_l$	λ	$\Delta\lambda_n$
	$\Delta F^m =$		$\Delta\lambda^m =$		$\Delta\lambda^m =$



Результати дослідів та теоретичних розрахунків:

Напруга $\tau_{max}, ()$	Деформація пружини $\lambda, ()$			Жорсткість пружини $C, ()$		
	із дослідів	із розрахунку	%	із дослідів	із розрахунку	%

ВИСНОВКИ:

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 7

1. Як зміниться осадка пружини, якщо діаметр дроту (d) зменшити вдвічі?
2. Як залежить осадка пружини від пружних властивостей матеріалу?
3. Якими внутрішніми силовими факторами нехтують при наближеному розрахунку осадки пружини?
4. Назвіть приклади використання гвинтових пружин у техніці.

« _____ » _____ 20__ р. Підпис керівника _____

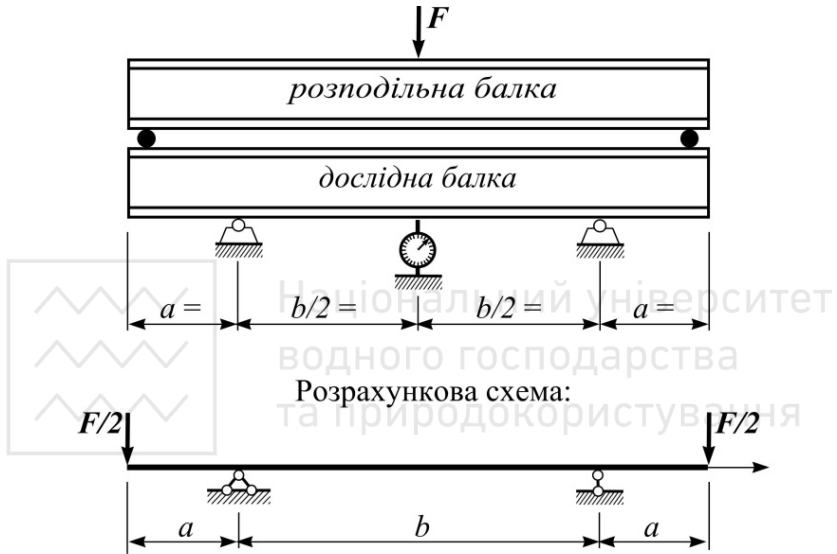


ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

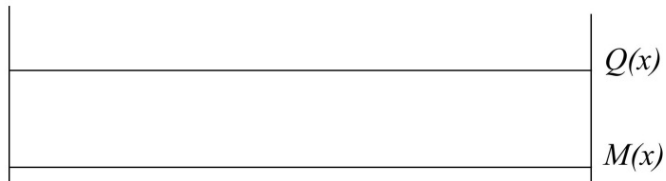
ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУГ ПРИ ЧИСТОМУ ЗГИНІ БАЛКИ

Мета роботи:

Схема передачі навантаження на дослідну балку:



Епюри поперечних сил та згинаючих моментів



Дані про зразок та прилади:

Д в о т а в р №	
Осьовий момент інерції за ДСТУ	$I_z =$
Осьовий момент опору за ДСТУ	$W_z =$
Довжина бази тензометрів	$\ell =$
Ціна поділки шкали тензометрів	$m =$



Таблиця спостережень:

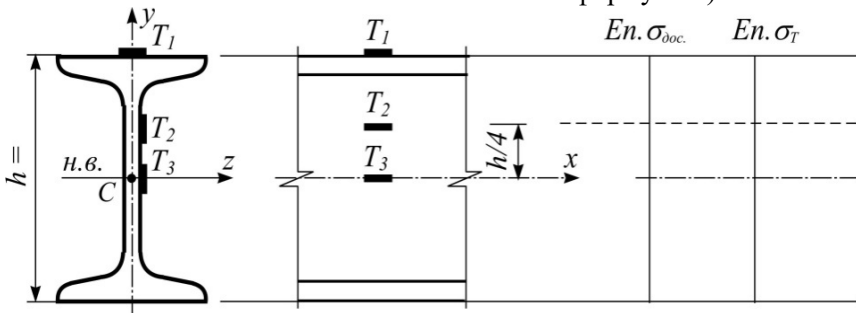
Навантаження ()		Покази тензометрів			Прирошення показів тензометрів		
F	ΔF	T_1	T_2	T_3	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_3

Результати досліду та теоретичних розрахунків:

Тензометр	Середнє приращення		Величина напруги		
	відліків по тензометрах ΔT_m	відносної деформації $\Delta \epsilon_m$	за даними досліду $\sigma_{дос.} ()$	за формулою $\sigma_T ()$	%
1					
2					
3					

Поперечний переріз балки
з розмірами:

Епюри нормальних напруг по
висоті поперечного перерізу
балки (за даними досліду та за
формулою)





ВИСНОВКИ:

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 8

1. У чому полягає різниця між чистим та поперечним згинами балки?
2. Які гіпотези лягли в основу теорії чистого згину балок?
3. В яких перерізах балки нормальні напруги відсутні?
4. Які обмеження накладаються на границі застосовності

формули $\sigma = \frac{M(x)}{I_z} \cdot y$?



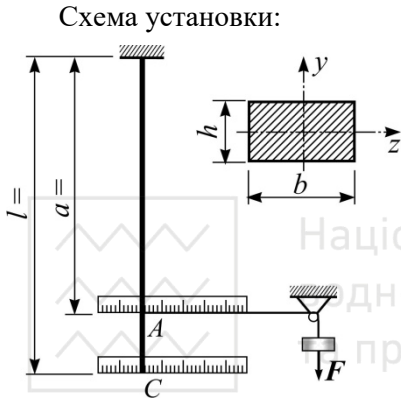
« _____ » _____ 20__ р. Підпис керівника _____



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОГИНІВ ТА КУТІВ ПОВОРОТУ ПЕРЕРІЗІВ БАЛКИ

Мета роботи:



Дані про зразок:

Довжина балки	$l =$
Відстань до точки прикладання сили	$a =$
Висота перерізу балки	$h =$
Ширина перерізу балки	$b =$
Осьовий момент інерції перерізу балки	$I_z =$

Таблиця спостережень:

Навантаження ()		Переріз „А”		Переріз „С”	
F	ΔF	відлік по шкалі	прогин y_A ()	відлік по шкалі	прогин y_C ()



Результати дослідів та теоретичних розрахунків:

Назва	Теоретичне значення	Середнє значення за результатами дослідів	Розбіжність %
Прогин перерізу „А”	$y_A =$	$y_A^m =$	
Прогин перерізу „С”	$y_C =$	$y_C^m =$	
Кут повороту перерізу „А”	$\theta_A =$	$\theta_A^m =$	

ВИСНОВКИ:

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 9

1. Що називається прогином перерізу балки?
2. Що називається кутом повороту перерізу балки?
3. Чому буде дорівнювати кут повороту в перерізі С (θ_C)?
4. Де в розрахунковій практиці використовується вміння обчислювати переміщення при згині?

« _____ » _____ 20__ р. Підпис керівника _____

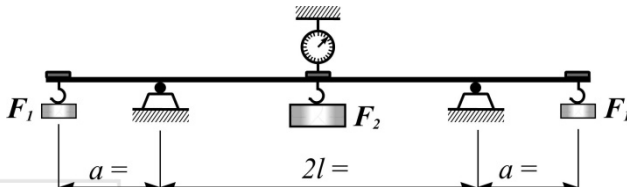


ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

ВИЗНАЧЕННЯ РЕАКЦІЙ ОПОР СТАТИЧНО НЕВИЗНАЧЕНОЇ БАЛКИ

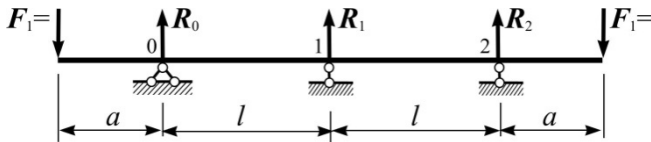
Мета роботи:

Схема установки:



Визначення величини реакції середньої опори аналітичним шляхом:

Розрахункова схема балки





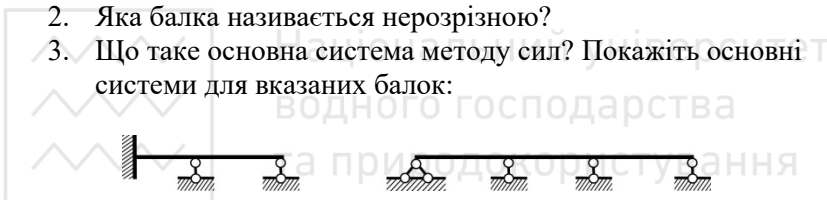
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДУ ТА ТЕОРЕТИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ:

Величина реакції середньої опори R_I	з розрахунку $R_I^p =$	Розбіжність %
	з досліду $R_I^{doc} =$	

ВИСНОВКИ:

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 10

1. Як визначається ступінь статичної невизначеності балки?
Наведіть приклади.
2. Яка балка називається нерозрізною?
3. Що таке основна система методу сил? Покажіть основні системи для вказаних балок:



« ___ » _____ 20 ___ р. Підпис керівника _____

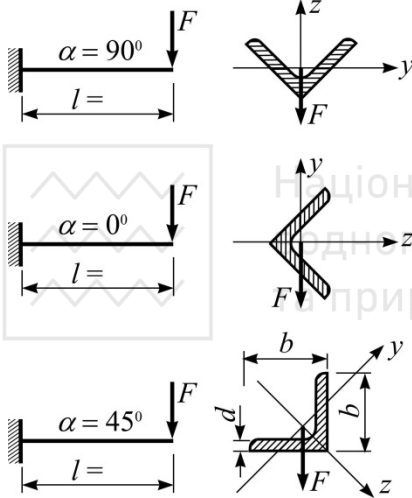


ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НАВСКІСНОГО ЗГИНУ БАЛКИ КУТИКОВОГО ПРОФІЛЮ

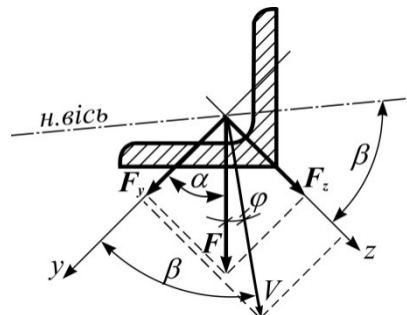
Мета роботи:

Схема установки та положення
перерізу:



Дані про зразок:

Довжина балки	$l =$
Розміри перерізу балки	$b =$ $d =$
Номер профілю	№
Максимальний момент інерції перерізу	$I_z =$
Мінімальний момент інерції перерізу	$I_y =$
Вертикальне навантаження	$F =$



α – кут між віссю y та напрямком сили F ,

β – кут між нейтральною віссю та віссю z ;

φ – кут між напрямком сили F та повним прогином V .



РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДУ ТА ТЕОРЕТИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ:

Назва величин	Положення перерізу		
	1	2	3
Кут α між віссю y та напрямком сили F	90°	0°	45°
Складова сила F вздовж осі y	$F_y =$	$F_y =$	$F_y =$
Складова сила F вздовж осі z	$F_z =$	$F_z =$	$F_z =$
Прогин, одержаний за розрахунком	$V_p =$	$V_p =$	$V_p =$
Прогин, одержаний за дослідом	$V_{доc} =$	$V_{доc} =$	$V_{доc} =$
φ – кут між напрямком прогину V та напрямком сили F	$\varphi =$	$\varphi =$	$\varphi =$
β – кут між нейтральною віссю та віссю z , одержаний:	за формулою		$\beta =$
	з дослідом		$\beta =$





ВИСНОВКИ:

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 11

1. Який згин називається навскісним?
2. Яким повинен бути поперечний переріз балки, щоб навскісний згин був неможливим? Наведіть приклади.
3. Від яких параметрів залежить положення нейтральної осі при навскісному згині?
4. Як визначити напрямок повного прогину при прямому або навскісному згинах балки, якщо відоме положення нейтральної осі?



« ____ » _____ 20 ____ р. Підпис керівника _____

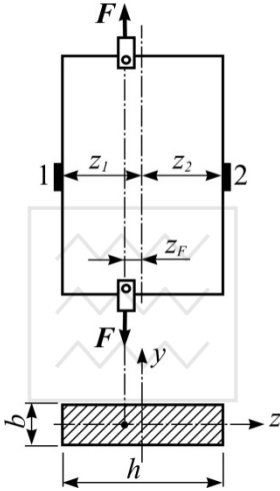


ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12

ДОСЛІДНЕ ВИВЧЕННЯ ПОЗАЦЕНТРОВОГО РОЗТЯГУ

Мета роботи:

Ескіз зразка



Дані про зразок та прилади:

Матеріал та модуль пружності	$E =$
Поперечні розміри та площа перерізу зразка	$h =$ $b =$ $A =$
Осьовий момент інерції	$I_y =$
Осьовий момент опору	$W_y =$
Ексцентриситет	$z_F =$
Координати точок, в яких визначаються напругу	$z_1 =$ $z_2 =$
Ціна поділки шкали тензометра	механічного $m_m =$
	електричного $m_e =$
База тензометра	механічного $\ell_m =$
	електричного $\ell_e =$

Таблиця спостережень:

Навантаження		Відлік по шкалі тензометра			
$F ()$	$\Delta F ()$	T_1	ΔT_1	T_2	ΔT_2
	$\Delta F^m =$		$\Delta T_1^m =$		$\Delta T_2^m =$



Результати дослідів та теоретичних розрахунків:

№ точки	Напруга		Розбіжність %
	теоретичне значення	за даними дослідів	
1	$\sigma_m =$	$\sigma_{дос.} =$	
2	$\sigma_m =$	$\sigma_{дос.} =$	

ВИСНОВКИ:

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 12

1. З яких простих деформацій складається позацентровий розтяг (стиск)?
2. Точка прикладання сили наближається до центру мас поперечного перерізу. Куди в цьому випадку буде зміщуватись нейтральна вісь?
3. Як в даній роботі розташована точка прикладання сили відносно ядра перерізу?
4. При якому положенні нейтральної осі напруги у всіх точках перерізу будуть одного знаку?

« _____ » _____ 20__ р. Підпис керівника _____

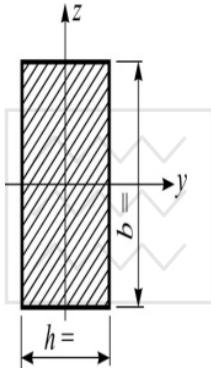


ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 13

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯВИЩА ВТРАТИ СТІЙКОСТІ СТИСНУТИМ СТЕРЖНЕМ

Мета роботи:

Розрахункова
схема стержня

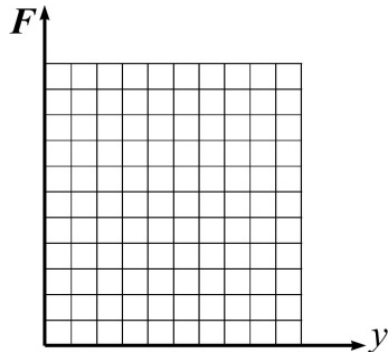


Результати досліду та теоретичних
розрахунків:

Матеріал зразка	<i>Сталь</i>
Модуль пружності	$E =$
Довжина зразка	$l =$
Площа поперечного перерізу	$A =$
Найменший момент інерції	$I_{min} =$
Найменший радіус інерції	$i_{min} =$
Коефіцієнт приведеної довжини	$\mu =$
Гнучкість	$\lambda =$
Критична сила за розрахунком	$F_{cr} =$
Критична напруга за розрахунком	$\sigma_{cr} =$
Критична сила з досліду	$F_{cr} =$
Критична напруга з досліду	$\sigma_{cr} =$

Таблиця спостережень:

Навантаження $F ()$	Прогин $y ()$





ВИСНОВКИ:

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 13

1. В чому полягає явище втрати стійкості?
2. Яка сила називається критичною?
3. Вкажіть границі застосовності формул Л. Ейлера та Ф. Ясинського для визначення величин критичних сил і напруг.
4. Як визначається гнучкість стержня? Чи залежить вона від властивостей матеріалу?



« _____ » _____ 20__ р. Підпис керівника _____



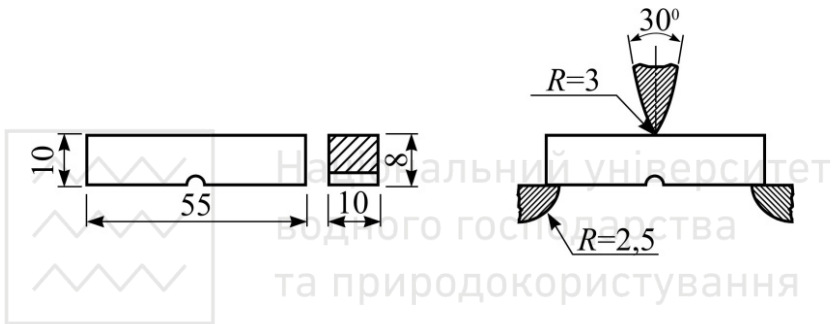
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 14

ВИПРОБУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ НА УДАР

Мета роботи:

Назва випробувальної машини:

Ескіз зразка та схема його установки:



Дані про зразок та запис спостережень:

Площа поперечного перерізу, ослабленого виточкою	$A =$
Енергія підйому маятника	$W_1 =$
Залишкова енергія маятника	$W_2 =$
Робота, що витрачена на руйнування зразка	$W =$

Величина ударної в'язкості:

$$a = \frac{W}{A} =$$



ВИСНОВКИ:

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 14

1. Що характеризує величина ударної в'язкості матеріалу?
2. З якою метою робиться надріз (виточка) на зразку?
3. Чому ударна в'язкість носить умовний характер?
4. Як визначити величину роботи, що витрачається на руйнування зразка при ударі?



« _____ » _____ 20__ р. Підпис керівника _____



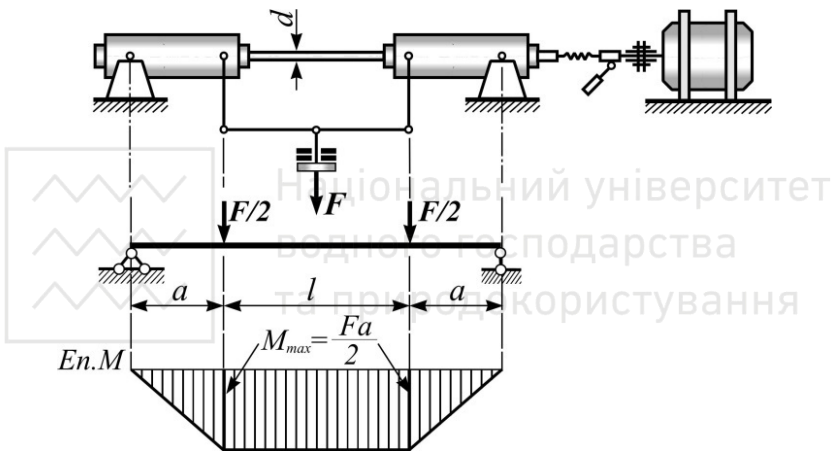
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 15

ВИПРОБУВАННЯ МЕТАЛІВ НА ВИТРИВАЛІСТЬ

Мета роботи:

Назва випробувальної машини:

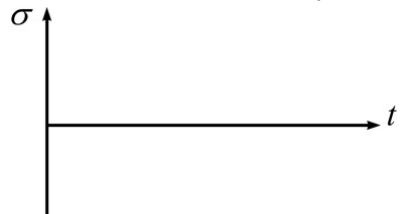
Схема машини із зразком та еюра згинальних моментів:



Дані про зразок:

Матеріал	
Довжина зразка	$l =$
Діаметр зразка	$d =$
Границя міцності при розтязі	$\sigma_{u,t} =$

Графік змін напруг в залежності від часу

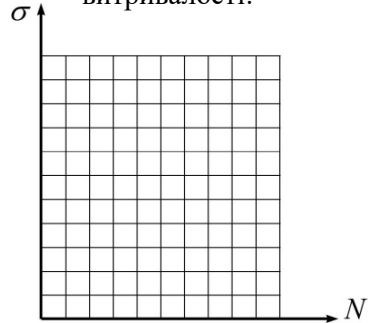




Таблиця спостережень

Задана напруга σ ()	Величина навантаження F ()	Число циклів до руйнування N

Діаграма витривалості:



ВИСНОВКИ :

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 15

1. Що розуміють під руйнуванням від втомленості матеріалу?
2. Що таке границя витривалості?
3. Назвіть основні фактори, які впливають на величину границі витривалості?
4. Показати у вигляді графіків наступні цикли змін напруг в залежності від часу : а) симетричний, б) асиметричний, в) пульсуючий.

« _____ » _____ 20__ р. Підпис керівника _____



Національний університет
водного господарства
та природокористування

ДОДАТОК Б

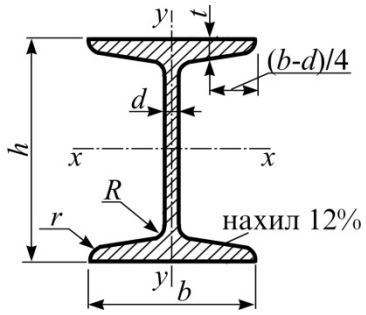
Сортамент прокатної сталі (двотаври, рівнополічні кутики)



Національний університет
водного господарства
та природокористування



Таблиця 1



Сталь прокатна
Балки двотаврові (за ДСТУ 8768:2018)

h – висота балки; b – ширина полиці;
 d – товщина стінки; t – середня товщина полиці;
 S_x – статичний момент верхньої половини перерізу

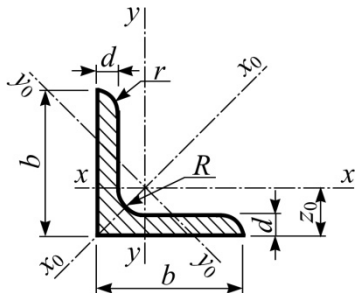
№ Профілю	Маса 1 пог. м, кг	Розміри						Площа перерізу, $см^2$	Довідкові величини для осей						
		h	b	d	t	R	r		$x-x$				$y-y$		
		мм							I_x , $см^4$	W_x , $см^3$	i_x , $см$	S_x , $см^3$	I_y , $см^4$	W_y , $см^3$	i_y , $см$
10	9,46	100	55	4,5	7,2	7,0	2,5	12,0	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,22
12	11,5	120	64	4,8	7,3	7,5	3,0	14,7	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38
14	13,7	140	73	4,9	7,5	8,0	3,0	17,4	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,5	1,55
16	15,9	160	81	5,0	7,8	8,5	3,5	20,2	873	109	6,57	62,3	58,6	14,5	1,70
18	18,4	180	90	5,1	8,1	9,0	3,5	23,4	1290	143	7,42	81,4	82,6	18,4	1,88
20	21,0	200	100	5,2	8,4	9,5	4,0	26,8	1840	184	8,28	104	115	23,1	2,07
22	24,0	220	110	5,4	8,7	10,0	4,0	30,6	2550	232	9,13	131	157	28,6	2,27

продовження табл. 1



Національний університет
водного господарства
та природокористування

№ Профілю	Маса 1 пог. м, кг	Розміри						Площа перерізу, см ²	Довідкові величини для осей						
		<i>h</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>t</i>	<i>R</i>	<i>r</i>		<i>x – x</i>				<i>y – y</i>		
		мм							<i>I_x</i> , см ⁴	<i>W_x</i> , см ³	<i>i_x</i> , см	<i>S_x</i> , см ³	<i>I_y</i> , см ⁴	<i>W_y</i> , см ³	<i>i_y</i> , см
24	27,3	240	115	5,6	9,5	10,5	4,0	34,8	3460	289	9,97	163	198	34,5	2,37
27	31,5	270	125	6,0	9,8	11,0	4,5	40,2	5010	371	11,2	210	260	41,5	2,54
30	36,5	300	135	6,5	10,2	12,0	5,0	46,5	7080	472	12,3	268	337	49,9	2,69
33	42,2	330	140	7,0	11,2	13,0	5,0	53,8	9840	597	13,5	339	419	59,9	2,79
36	48,6	360	145	7,5	12,3	14,0	6,0	61,9	13380	743	14,7	423	516	71,1	2,89
40	57,0	400	155	8,3	13,0	15,0	6,0	72,6	19062	953	16,2	545	667	86,1	3,03
45	66,5	450	160	9,0	14,2	16,0	7,0	84,7	27696	1231	18,1	708	808	101	3,09
50	78,5	500	170	10,0	15,2	17,0	7,0	100	39727	1589	19,9	919	1043	123	3,23
55	92,6	550	180	11,0	16,5	18,0	7,0	118	55962	2035	21,8	1181	1356	151	3,39
60	108	600	190	12,0	17,8	20,0	8,0	138	76806	2560	23,6	1491	1725	182	3,54



Таблиця 2

Сталь прокатна Кутики рівнополічні (за ДСТУ 2251:2018)

b – ширина полиць; d – товщина полиць;

z_0 – віддаль від центра ваги до зовнішньої полиці

Позначка	Розміри				Площа перерізу, $A, \text{см}^2$	Маса 1 м, кг	Довідкові величини для осей						$I_{xy}, \text{см}^4$	$z_0, \text{см}$
	b	d	R	r			$x - x$		$x_0 - x_0$		$y_0 - y_0$			
							$I_x, \text{см}^4$	$i_x, \text{см}$	$I_{x_0}, \text{макс.}, \text{см}^4$	$i_{x_0}, \text{макс.}, \text{см}$	$I_{y_0}, \text{мін.}, \text{см}^4$	$i_{y_0}, \text{мін.}, \text{см}$		
мм														
20×20×3	20	3	3,5	1,2	1,13	0,89	0,40	0,59	0,63	0,75	0,17	0,39	0,23	0,60
20×20×4	20	4	3,5	1,2	1,46	1,15	0,50	0,58	0,78	0,73	0,22	0,38	0,28	0,64
25×25×3	25	3	3,5	1,2	1,43	1,12	0,81	0,75	1,29	0,95	0,34	0,49	0,47	0,73
25×25×4	25	4	3,5	1,2	1,86	1,46	1,03	0,74	1,62	0,93	0,44	0,48	0,59	0,76
28×28×3	28	3	4	1,3	1,62	1,27	1,16	0,85	1,84	1,07	0,48	0,55	0,68	0,80
30×30×3	30	3	4	1,3	1,74	1,36	1,45	0,91	2,30	1,15	0,60	0,59	0,85	0,85
30×30×4	30	4	4	1,3	2,27	1,78	1,84	0,90	2,92	1,13	0,77	0,58	1,08	0,89

продовження табл. 2

Познака	Розміри				Площа перерізу, $A, \text{см}^2$	Маса $1 \text{ м},$ кг	Довідкові величини для осей						$I_{xy},$ см^4	$z_0,$ см	
	b	d	R	r			$x - x$		$x_0 - x_0$		$y_0 - y_0$				
							$I_x,$ см^4	$i_x,$ см	$I_{x_0},$ $\text{макс.},$ см^4	$i_{x_0},$ $\text{макс.},$ см	$I_{y_0},$ $\text{мін.},$ см^4	$i_{y_0},$ $\text{мін.},$ см			
	мм														
32×32×3	32	3	4,5	1,5	1,86	1,46	1,77	0,97	2,80	1,23	0,74	0,63	1,03	0,89	
32×32×4	32	4	4,5	1,5	2,43	1,91	2,26	0,96	3,58	1,21	0,94	0,62	1,32	0,94	
35×35×3	35	3	4,5	1,5	2,04	1,60	2,35	1,07	3,72	1,35	0,97	0,69	1,37	0,97	
35×35×4	35	4	4,5	1,5	2,67	2,10	3,01	1,06	4,76	1,33	1,25	0,68	1,75	1,01	
35×35×5	35	5	4,5	1,5	3,28	2,58	3,61	1,05	5,71	1,32	1,52	0,68	2,10	1,05	
40×40×3	40	3	5	1,7	2,35	1,85	3,55	1,23	5,63	1,55	1,47	0,79	2,08	1,09	
40×40×4	40	4	5	1,7	3,08	2,42	4,58	1,22	7,26	1,53	1,90	0,78	2,68	1,13	
40×40×5	40	5	5	1,7	3,79	2,98	5,53	1,21	8,75	1,52	2,30	0,78	3,22	1,17	
45×45×3	45	3	5	1,7	2,65	2,08	5,13	1,39	8,13	1,75	2,12	0,89	3,00	1,21	
45×45×4	45	4	5	1,7	3,48	2,73	6,63	1,38	10,5	1,74	2,74	0,89	3,89	1,26	
45×45×5	45	5	5	1,7	4,29	3,37	8,03	1,37	12,74	1,72	3,33	0,88	4,71	1,30	
50×50×3	50	3	5,5	1,8	2,96	2,32	7,11	1,55	11,27	1,95	2,95	1,00	4,16	1,33	
50×50×4	50	4	5,5	1,8	3,89	3,05	9,21	1,54	14,63	1,94	3,80	0,99	5,42	1,38	
50×50×5	50	5	5,5	1,8	4,80	3,77	11,20	1,53	17,77	1,92	4,63	0,98	6,57	1,42	
50×50×6	50	6	5,5	1,8	5,69	4,47	13,07	1,52	20,72	1,91	5,43	0,98	7,65	1,46	





1. Писаренко Г. С., Квітка О. Л., Уманський Е. С. Опір матеріалів : підручник. К. : Вища школа, 2004. 655 с.
2. Сопротивление материалов. Лабораторные работы : учебное пособие для вузов / Цурпал И. А. и др. Киев : Вища школа, 1988. 245 с.
3. Золотаревский В. С. Механические свойства материалов. М. : Металлургия, 1983. 350 с.
4. Трач В. М., Подворний А. В. Кафедра опору матеріалів і будівельної механіки. Випробувальна лабораторія. Рівне : НУВГП, 2011. 20 с.
5. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт № 1–8 із навчальних дисциплін «Опір матеріалів» і «Технічна механіка»: «Міцність та деформативні властивості конструкційних матеріалів» для студентів за напрямками підготовки: «Будівництво», «Гідротехніка (водні ресурси)», «Гідроенергетика», «Гірництво», «Машинобудування», «Автомобільний транспорт», «Охорона праці», «Теплоенергетика» / О. Г. Гуртовий, В. І. Андрушков, С. О. Тинчук. Рівне : НУВГП, 2015. 37 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/2379> (дата звернення: 12.07.2021).
6. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт № 9–15 із навчальних дисциплін «Опір матеріалів» і «Технічна механіка» для студентів за напрямками підготовки: «Будівництво», «Гідротехніка (водні ресурси)», «Машинобудування», «Автомобільний транспорт», «Теплоенергетика», «Гідроенергетика», «Гірництво», «Охорона праці» / В. І. Андрушков, О. Г. Гуртовий, С. О. Тинчук. Рівне : НУВГП, 2015. 31 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/2385> (дата звернення: 12.07.2021).
7. ДСТУ 8768:2018. Двотаври сталеві гарячекатані. Сортамент. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2018.
8. ДСТУ 2251:2018. Кутики сталеві гарячекатані рівнополічні. Сортамент. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2018.



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Навчальне видання

*Андрушков В'ячеслав Іванович
Гуртовий Олексій Григорович
Тинчук Сергій Олександрович*

ОПР МАТЕРІАЛІВ **Лабораторні роботи**

Навчальний посібник



Технічний редактор

Г.Ф. Сімчук

Національний університет
водного господарства
та природокористування

*Видавець і виготовлювач
Національний університет
водного господарства та природокористування
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028.*

*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до
державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів
видавничої продукції РВ № 31 від 26.04.2005 р.*