

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з курсу “Опір матеріалів”
для студентів всіх спеціальностей
денної форми навчання

III семестр

2006

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу “Опір матеріалів” для студентів всіх спеціальностей денної форми навчання. III семестр / Укл.: В.Г. Шевченко, А.О. Будник, І.Г. Борисенко, В.Т. Кудін, С.Л. Рягін. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2006. – 54 с.

Укладачі: *В.Г. Шевченко*, доцент, к.т.н.
А.О. Будник, доцент, к.т.н.
І.Г. Борисенко, доцент, к.т.н.
В.Т. Кудін, доцент, к.т.н.
С.Л. Рягін, доцент, к.т.н.

Комп’ютерна графіка
та верстка: *Г.А. Кот*

Рецензент: *Б.О. Трескунов*, доцент, к.т.н.
Експерт: *С.Г. Саксонов*, доцент, к.ф.-м.н.
Відповідальний
за випуск: *В.Г. Шевченко*, доцент, к.т.н.

Видання перероблене та доповнене.

ЗАТВЕРДЖЕНО

на засіданні кафедри
механіки

Протокол № 1
від 30.08.2006 р.

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ	4
ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ	6
1 Визначення основних механічних характеристик сталі при розтяганні	6
2 Визначення основних механічних характеристик різних матеріалів при стисканні	13
3 Визначення модуля пружності і коефіцієнта поперечної деформації сталі при розтяганні	18
4 Випробування різних матеріалів на зсув	22
5 Визначення модуля пружності другого роду при крученні сталевого зразка	25
6 Дослідження плоского напруженого стану при крученні труб тонкостінного профілю	30
7 Дослідження концентрації напружень при розтяганні пластини з отвором	36
8 Визначення положення центра згинання тонкостінної консольної балки швелерного профіля	40
ЛІТЕРАТУРА	44
Додаток А Лабораторне устаткування.....	45
А.1 Розривні випробувальні машини ВР-100, УВМ-50, ГРМ-5	45
А.2 Випробувальна машина на кручення КМ-50	47
Додаток Б Вимірювальні прилади і датчики	49
Б.1 Індикатор для вимірювання лінійних переміщень	49
Б.2 Важільний тензометр Гуггенбергера	49
Б.3 Електротензометр	50

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Опір матеріалів – це наука про інженерні методи розрахунків на міцність, жорсткість і стійкість елементів конструкцій різних споруд та механізмів [6].

Опір матеріалів ґрунтується на теоретичних і дослідних даних. Тому при вивченні курсу опір матеріалів студенти виконують лабораторні роботи, які є обов'язковою частиною навчального процесу. Лабораторні роботи сприяють розвитку навичок самостійної роботи та більш глибокому розкриттю фізичної суті теорії опору матеріалів. Вони направлені на вивчення механічних властивостей різних матеріалів та експериментальну перевірку теоретичних висновків і формул, а також на ознайомлення з сучасними методами дослідження напружено-деформованого стану твердого тіла.

Лабораторні роботи з опору матеріалів можна розділити на дві основні групи:

- випробування різних матеріалів з метою визначення їх механічних характеристик;
- вивчення напружено-деформованого стану найпростіших елементів конструкцій.

Кожна лабораторна робота містить короткі теоретичні відомості, опис випробувальних машин та лабораторних установок, ескізів зразків і схем вимірних приладів

Послідовність виконання лабораторних робіт визначається навчальними планами занять третього і четвертого семестрів. Дані методичні вказівки відносяться до тематики занять третього семестру.

Лабораторні роботи виконуються студентами в лабораторіях кафебри в присутності викладача. Перед виконанням роботи студенти повинні засвоїти відповідний розділ теоретичного курсу та ознайомитись з інструкцією до її виконання.

Лабораторна робота вважається виконаною після її захисту і підпису звіту викладачем. Захист може проводитись у формі усної співбесіди безпосередньо з викладачем, або з використанням програмного комплексу [5]. Студенти, які пропустили заняття з поважної причини, зобов'язані виконати відповідну роботу згідно додаткового розкладу, призначеного викладачем. Звіти з лабораторних робіт зберігаються у студента до закінчення семестру і надаються ним на заліках або іспитах.

При виконанні лабораторних робіт **необхідно чітко дотримуватись основних правил техніки безпеки:**

- в аудиторіях і лабораторіях кафедри забороняється знаходитись у верхньому одязі та вішати його на лабораторне устаткування або класти на столи;
- перед початком робіт студенти повинні ознайомитись з правилами техніки безпеки і розписатись в журналі для інструктажу;
- категорично забороняється чіпати, вмикати та вимикати без дозволу викладача чи лаборанта випробувальні машини, вимикачі та інші прилади і обладнання;
- забороняється виконувати роботу без дозволу викладача, переставляти вантажі, прилади, наочні посібники та інше;
- необхідно пам'ятати, що необережне поводження з вогнем або паління в заборонених місцях може бути причиною вибуху або пожежі;
- забороняється без дозволу вмикати та експлуатувати електронагрівачі (каміни, плитки та ін.);
- при проведенні лабораторних робіт на випробувальних машинах необхідно упевнитись, що робочий простір машини має захисне та запобіжне устаткування;
- про виявлені неполадки обладнання і порушення правил техніки безпеки студенти повинні негайно інформувати викладача або лаборанта;
- студенти, які порушили правила техніки безпеки, від роботи відстороняються, і про це інформувати завідувача кафедри та декана факультету;
- після закінчення роботи студенти приводять своє робоче місце у належний вигляд.

ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

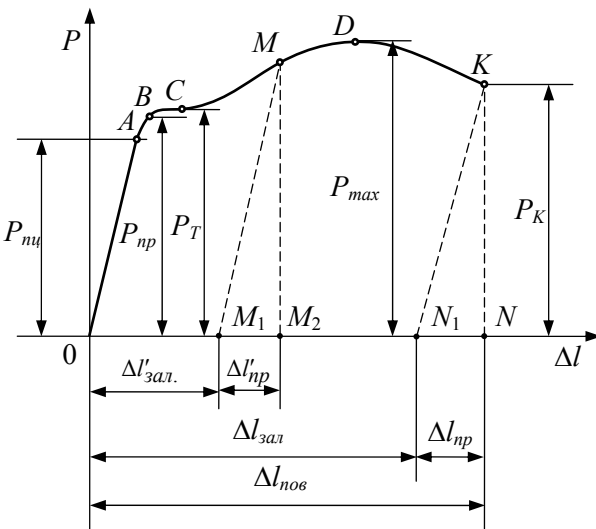
1 ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛІ ПРИ РОЗТЯГАННІ

Мета роботи: вивчити поведінку сталевого зразка при розтяганні до руйнування і визначити основні механічні характеристики.

Короткі теоретичні відомості

Випробування на розтягання є одним з основних і найпоширеніших видів випробувань. Одержані в результаті експерименту характеристики дозволяють оцінювати міцність та пластичність матеріалу при статичних навантаженнях і вважаються основними при розрахунках на міцність деталей машин та елементів конструкцій різних споруд.

Основні параметри визначають на підставі діаграми розтягання в координатах $P \sim \Delta l$, яка записується за допомогою пристрою для побудови діаграм. На рис. 1.1 показана характерна діаграма розтягання маловуглецевої сталі, на якій можна виділити характерні точки і ділянки на різних стадіях навантаження.



На етапі навантаження до деякої сили P_{nc} (точка A) спостерігається прямо пропорційна залежність між подовженням Δl , зразка і силою P , яка його визвала (закон Р. Гука). Після розвантаження початкова довжина зразка відновлюється, тобто деформація є пружною, яка зникає повністю.

Рисунок 1.1 – Діаграма розтягання маловуглецевої сталі в системі координат $(P \sim \Delta l)$

Відношення

$$\sigma_{ny} = P_{ny} / F_0 \quad (1.1)$$

називається *границею пропорційності*, тобто це таке напруження, вище якого порушується закон Гука. Тут F_0 – площа поперечного перерізу робочої частини зразка.

При подальшому навантаженні починається деяке відхилення від прямої OA , а після розвантаження деформація зникає не повністю, тобто з'являється залишкова деформація. Сила P_{np} (точка B) викликає в зразку залишкову деформацію 0,001% ... 0,005%.

Відношення

$$\sigma_{np} = P_{np} / F_0 \quad (1.2)$$

називають *границею пружності* (умовною). Це таке напруження, після якого починають з'являтися залишкові деформації.

При досягненні навантаженням деякої величини P_T (точка C) подовження починає зростати швидше, ніж зусилля, а для деяких пластичних матеріалів (м'які сталі) зразок подовжується (“тече”) без збільшення, а інколи і при зменшенні навантаження. На діаграмі з'являється так звана “площадка текучості”.

Відношення

$$\sigma_T = P_T / F_0 \quad (1.3)$$

називають *границею текучості* (фізичною).

Текучість пояснюється взаємними зсувами частинок (кристалів) матеріалу. На поверхні відполірованого зразка можна бачити через лупу косі штрихи – лінії зсуву, які називаються лініями Чернова-Людерса (неозброєним оком видно, що поверхня стає тмяною). Більшість цих ліній нахилена до осі зразка під кутом $45^\circ \dots 50^\circ$, що відповідає приблизно положенню площадок найбільших дотичних напружень.

У багатьох крихких матеріалів (високовуглецеві сталі та інші) площадка текучості на діаграмі відсутня. В цьому випадку застосовують термін *умовної границі текучості*, яка являє собою напруження, при якому залишкове подовження зразка складає 0,2% або 0,5% його довжини і позначається відповідно $\sigma_{0,2}$ або $\sigma_{0,5}$, тобто

$$\sigma_{0,2} = P_{0,2} / F_0 \quad (1.4)$$

Після стадії текучості матеріал знову починає чинити опір зростаючим зусиллям, настає так звана стадія зміцнення. Якщо зразок розвантажити, починаючи з зусилля P_M (точка M), то пружне подовження $\Delta l'_{np}$ зникне, а залишкове $\Delta l'_{зал}$ залишиться, тобто перо діаграмного пристрою накреслить пряму лінію MM_1 , яка майже паралельна лінії OA . При повторному навантаженні, яке може здійснюватись зразу ж за розвантаженням, перо пристрою буде повторювати лінію M_1M , а зі збільшенням зусилля накреслить лінію MD . Властивості матеріалу зміняться: границі пропорційності і текучості збільшуються, площадка текучості зникає, пластичні властивості погіршуються, а твердість підвищується. Це явище носить назву наклепування. В одних випадках воно корисне, а в інших приносить шкоду і його усувають. Подальше збільшення зусилля приводить до появи місцевого зменшення діаметру зразка (утворенню “шийки”) і руйнуванню. В момент появи шийки зусилля досягає свого максимального значення P_{max} або $P_{мц}$ (точка D).

Відношення

$$\sigma_{мц} = P_{max} / F_0 \quad (1.5)$$

називається *границею міцності* (умовною) або *тимчасовим опором*.

Як тільки на зразку починає утворюватись шийка, зусилля зменшується (ділянка DK). Подальше деформування зразка відбувається за рахунок подовження в зоні шийки.

Відношення

$$\sigma_d = P_k / F_1 \quad (1.6)$$

називається *дійсним напруженням* в момент руйнування (*дійсним опором розриву*). Тут F_1 – площа поперечного перерізу в зоні шийки.

В момент руйнування робоча частина зразка l_0 подовжилась на величину $\Delta l_{лов}$. Після руйнування пружна частина повного подовження Δl_{np} зникає, залишається $\Delta l_{зал}$.

Відношення

$$\delta = \frac{\Delta l_{зал}}{l_0} 100\% \quad (1.7)$$

називають *відносним залишковим подовженням*.

В місці утворення шийки площа перерізу зразка зменшилася на величину $\Delta F = F_0 - F_1$.

Відношення

$$\psi = \frac{\Delta F}{F_0} 100\% \quad (1.8)$$

називається *відносним залишковим звуженням*. Параметри δ і ψ характеризують пластичні властивості. Площа діаграми, яка обмежена кривою $O A B C M D K$ і віссю абсцис (рис. 1.1), являє собою повну роботу A , витрачену на руйнування зразка. Наближено її можна визначити так

$$A = P_{max} \Delta l_{нов} \eta, \quad (1.9)$$

де η – коефіцієнт заповнення діаграми, який для маловуглецевої сталі дорівнює 0,85.

Відношення

$$a = A / V_0 = A / (F_0 \cdot l_0) \quad (1.10)$$

називають *питомою роботою*, яка характеризує здатність матеріалу поглинати енергію при руйнуванні, в'язкість матеріалу і опір дії динамічних навантажень.

Звичайно, що записана пристроєм машини діаграма в координатах $P \sim \Delta l$ не дає повного уявлення про ті чи інші властивості матеріалу, так як її параметри (P , Δl) залежать від розмірів зразка. Тому цю діаграму перебудовують в діаграму відносних величин (σ , ε), яка називається *діаграмою умовних напружень* в координатах $\sigma \sim \varepsilon$ (рис. 1.2). На цій діаграмі зазначені основні механічні характеристики міцності і пластичності, які визначаються за формулами (1.1)...(1.7).

На рис. 1.3 показана діаграма розтягання легованої сталі з позначенням умовної границі текучості.

Якщо розглянути прямолінійну ділянку oa діаграми (рис. 1.2), то можна помітити, що відношення $\sigma/\varepsilon = const$, тобто

$$\sigma/\varepsilon = E, \quad (1.11)$$

де E – коефіцієнт пропорційності (модуль поздовжньої пружності, модуль пружності першого роду або модуль Т. Юнга).

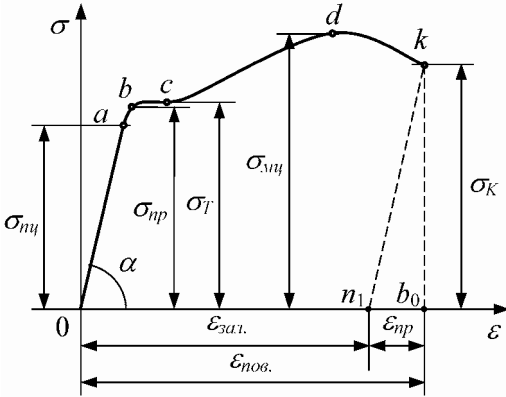


Рисунок 1.2 – Діаграма розтягання маловуглецевої сталі в системі відносних координат ($\sigma \sim \varepsilon$)

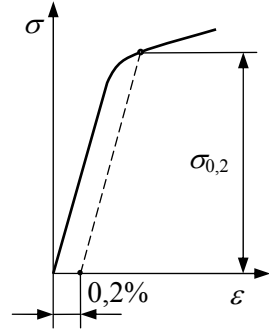


Рисунок 1.3 – Діаграма розтягання легованої сталі з позначенням умовної границі текучості

З другого боку, для будь-якої точки, що лежить на ділянці oa (рис. 1.2), це відношення має вид

$$\sigma/\varepsilon = \operatorname{tg} \alpha. \quad (1.12)$$

Порівнюючи формули (1.11) і (1.12), можна сказати, що з точки зору геометрії модуль пружності E пропорційний тангенсу кута нахилу прямої oa до осі абсцис.

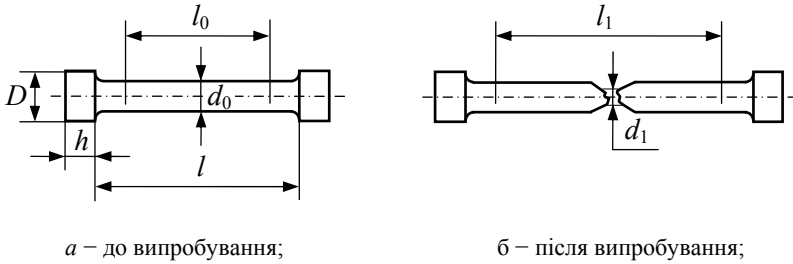
На підставі формули (1.11) можна записати відому залежність, яка називається *законом Р. Гука*

$$\sigma = \varepsilon E. \quad (1.13)$$

Зразки, вимірювальні прилади і лабораторні установки

Відповідно ГОСТ 1497-84 при випробуванні на розтягання застосовують пропорційні циліндричні зразки семи типів та плоскі зразки двох типів.

Циліндричні зразки відрізняються між собою конструкцією головок. В даній лабораторній роботі застосовують пропорційний циліндричний зразок III типу (рис. 1.4, а).



а – до випробування;

б – після випробування;

Рисунок 1.4 – Ескіз довгого пропорційного зразка

В залежності від співвідношення між площею поперечного перерізу F_0 і розрахунковою довжиною l_0 зразки бувають довгими ($l_0 = 11,3\sqrt{F_0}$) і короткими ($l_0 = 5,65\sqrt{F_0}$); діаметри їх змінюються в межах 3...25 мм, ширина для плоских – в інтервалі 3...25 мм.

Розрахунковою довжиною l_0 називають довжину, на якій визначають деформації. Ця довжина повинна бути меншою за відстань l між головками на діаметр або ширину зразка з кожної сторони, тому що уже на такій відстані від головок напружений стан зразка однорідний і не залежить від способу прикладання зовнішніх сил (принцип Сен-Венана).

Випробування проводять на розривній машині ВР-100 (додаток А) або інших машинах, які пристосовані для таких досліджень, наприклад, ГРМ-5 та УВМ-50.

Порядок проведення дослідів

Ознайомитись з побудовою розривної машини ВР-100 та з основними правилами техніки безпеки.

Встановити необхідну границю навантаження і визначити ціну поділки шкали зусиль та масштаб діаграмного пристрою.

Виміряти діаметр зразка d_0 і рисками на його поверхні позначити границі робочої частини, тобто розмір l_0 (рис. 1.4, а).

Обчислити площу поперечного перерізу F_0 , см² і об'єм розрахункової частини зразка $V_0 = F_0 l_0$, см³. Ці дані занести в таблицю, закріпити зразок в захватах машини і почати випробування. В процесі випро-

бувань вести спостереження за поведінкою зразка і діаграмним пристроєм, який відображає процес розтягання в координатах $P \sim \Delta l$.

За даними машинної діаграми (рис. 1.1) визначити зусилля $P_{ти}$, $P_{пр}$, P_T , P_{max} , P_K , які відповідають характерним точкам, і за формулами (1.1)...(1.5) обчислити основні механічні характеристики міцності матеріалу зразка.

Виміряти довжину розрахункової частини зразка l_1 після його розриву і діаметр в зоні шийки d_1 (рис. 1.4, δ), на підставі чого обчислити площу F_1 і залишкове подовження $\Delta l_{зал} = l_1 - l_0$.

За формулою (1.6) визначити дійсне напруження в момент розриву, а за формулами (1.7) і (1.8) характеристики пластичності.

Нарешті, використовуючи формули (1.9) та (1.10), обчислити енергетичні характеристики.

[1, С. 7–16; 2, С. 27–35; 3, С. 11–15; 6, С. 88–97].

2 ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РІЗНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ СТИСКАННІ

Мета роботи: вивчити поведінку різних матеріалів при стисканні і визначити границю пропорційності для пластичних матеріалів, границю міцності для крихких матеріалів та коефіцієнт анізотропії для анізотропних матеріалів.

Короткі теоретичні відомості

Випробування на стискання є основними при визначенні механічних характеристик крихких матеріалів: чавуну, фарфору, будівельних матеріалів та інших. На відміну від випробувань на розтягання випробування на стискання мають свої особливості:

- в процесі випробування пластичні матеріали можуть стискатись, не руйнуючись і не роздрібнюватись на частини, а крихкі руйнуються;
- характеристики міцності і пластичності циліндричного зразка при випробуванні на стискання суттєво залежать від відношення висоти зразка до його діаметру;
- на результати випробувань суттєво впливають умови тертя на торцевих поверхнях зразка.

При стисканні різні матеріали поведуть себе по-різному.

Пластичні матеріали (сталі). При стисканні сталевого зразка до деякого зусилля P_{nc} (рис. 2.1, *а*) спостерігається пропорційна залежність між переміщенням і зусиллям. Відношення P_{nc} до початкової площі поперечного перерізу F_0 називається границею пропорційності сталі при стисканні

$$\sigma_{nc}^c = P_{nc} / F_0. \quad (2.1)$$

В процесі подальшого навантаження помітний значне зростання деформації, тобто матеріал “тече”, але без наявності площадки текучості. Зразок приймає діжкоподібну форму (рис. 2.1, *б*) в наслідок наявності тертя між торцями зразка і поверхнями опорних деталей машини або реверсу. При подальшому стисканні зразок не руйнується, а розплющується, інколи з появою тріщин на твірній поверхні. Пластичні матеріали при стисканні не мають границі міцності, тобто їх можна розплющити до отримання тоненької пластинки.

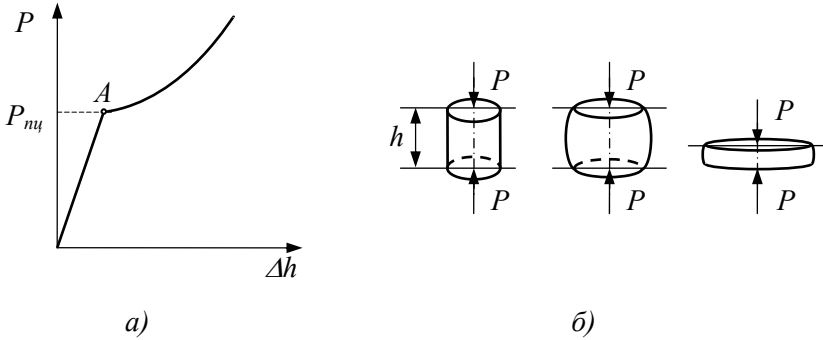


Рисунок 2.1 – Схема сталевго зразка і діаграма його деформування при стисканні

Крихкі матеріали (чавун). При стисканні чавунного зразка з самого початку навантаження і до руйнування спостерігається нелінійна залежність між зусиллям і переміщенням. Але в умовах тих малих деформацій, при яких матеріал використовують в різних деталях машин і споруд, діаграма $P \sim \Delta h$ являє собою лінію малої кривизни (рис. 2.2, а). Тому при практичних розрахунках вважають, що матеріал деформується, дотримуючись закону Гука. При поступовому навантаженні зразок коротшає, приймаючи джжкоподібну форму, а при досягненні максимального зусилля P_{max} руйнується з утворенням магістральної тріщини. Руйнування відбувається при невеликих пластичних деформаціях від максимальних дотичних напружень, які діють на площинах, нахилених до осі зразка приблизно під кутом $40^\circ \dots 50^\circ$ (рис. 2.2).

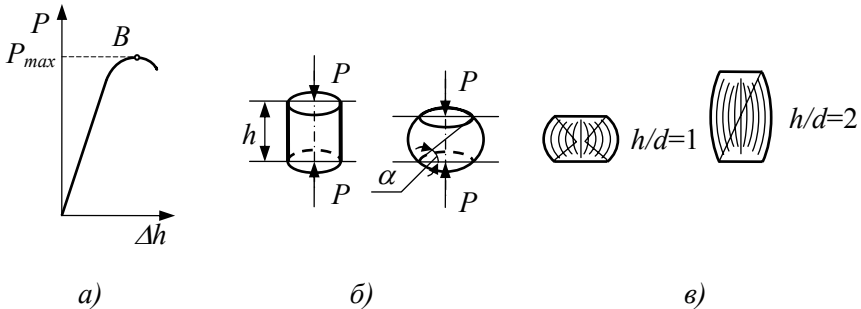


Рисунок 2.2 – Схема чавунного зразка і діаграма його деформування при стисканні

Відношення зусилля P_{max} до площі F_0 поперечного перерізу називається границею міцності або тимчасовим опором чавуну при стисканні

$$\sigma_{ми}^c = P_{max} / F_0. \quad (2.2)$$

При досягненні максимального зусилля P_{max} чавун руйнується практично миттєво, що характерно для крихких матеріалів. Необхідно пам'ятати, що границя міцності чавуну сильно залежить від умов випробування і відношення висоти h до діаметра d зразка, від якого залежить навіть вид руйнування крихких матеріалів (рис. 2.2, в).

Дерево. Випробування дерев'яного зразка як представника анізотропних матеріалів проводиться вздовж (рис. 2.3, б) і поперек (рис. 2.3, в) волокон.

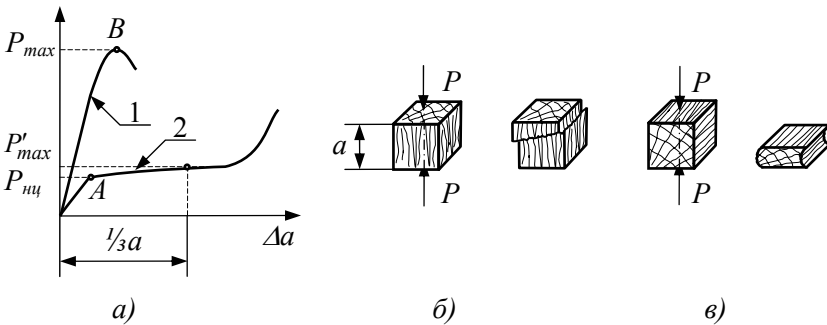


Рисунок 2.3 – Схема дерев'яного зразка і діаграма його деформування при стисканні

Діаграма $P \sim \Delta a$ при стисканні зразка вздовж волокон (рис. 2.3, а, крива 1) зовнішнє схожа на діаграму стискання чавуну (крихкого матеріалу). Між зусиллям P і переміщенням Δa на початку навантаження помітна незначна нелінійна залежність, причому ця нелінійність зростає по мірі збільшення зусилля. При досягненні максимального зусилля P_{max} зразок руйнується.

Відношення P_{max} до початкової площі F_0 поперечного перерізу зразка називається *границею міцності* або тимчасовим опором дерева вздовж волокон і визначається формулою (2.2).

Зазвичай руйнування відбувається з утворенням поперечних складок і змінанням торців.

При стисканні зразка поперек волокон діаграма $P \sim \Delta a$ має інший вигляд (рис. 2.3, а, крива 2) і нагадує діаграму стискання сталевого зразка (пластичного матеріалу). До деякої точки А спостерігається пропорційна залежність між зусиллям P_{nc} і переміщенням, що дозволяє визначити границю пропорційності як відношення P_{nc} до початкової площі F_0 поперечного перерізу, яке визначається формулою (2.1).

При подальшому навантаженні деревина здатна дуже сильно ущільнюватись без помітних ознак руйнування зразка. Момент втрати несучої здатності зафіксувати неможливо. Тому за руйнуючу силу P'_{max} умовно приймають таке зусилля, при дії якого деформація (ущільнення) зразка досягне $1/3$ початкового значення, тобто $\Delta a = 1/3 a$.

Відношення P'_{max} до F_0 називається границею міцності або тимчасовим опором дерева при стисканні поперек волокон

$$\sigma'_{mc} = P'_{max} / F_0. \quad (2.3)$$

Порівнюючи криві 1 і 2 (рис. 2.3, а) можна помітити, що при стисканні до руйнування поздовж волокон зразок зазнає значно менші деформації, ніж при стисканні поперек волокон. Характер руйнування у двох випадках різний. Міцність зразка в першому випадку у 7...10 разів більша, ніж у другому.

Коефіцієнт анізотронії, який характеризує відмінність механічних властивостей дерева вздовж і поперек волокон, визначається як відношення границі міцності при стисканні вздовж волокон до границі міцності при стисканні поперек волокон

$$k = \sigma^c_{mc} / \sigma'_{mc}. \quad (2.4)$$

Зразки, вимірювальні прилади і лабораторні установки

При випробуванні на стискання сталеві і чавунні зразки виготовляють циліндричної форми (рис. 2.1, б; 2.2, б) з відношенням розмірів висоти до діаметру $1 \leq h/d \leq 2$. Дерев'яні зразки мають форму кубика

(рис. 2.3, б, в) зі стороною $a=20$ мм. Для обміру зразків застосовують штангенциркуль зі шкалою 0...150 мм і ціною поділки 0,1 мм.

Роботу виконують на розривній машині ВР-100 (додаток А) із застосуванням реверсу або інших машинах, які пристосовані для таких досліджень.

Порядок проведення дослідю

Ознайомитись із схемою розривної машини ВР-100 та з основними правилами техніки безпеки.

Обміряти розміри зразків і визначити площі поперечного перерізу F_0 .

Послідовність проведення випробувань на стискання така ж, як і при випробуванні на розтягання. Різниця полягає лише в тому, що зразки встановлюють в спеціальний пристрій (реверс), який дозволяє дію машини на розрив перетворити у дію на стискання.

Отримані діаграми стискання обробляють, визначають необхідні зусилля для кожного зразка і за формулами (2.1)...(2.4) обчислюють основні механічні характеристики міцності досліджуваних матеріалів.

[1, С. 25–31; 2, С. 45–49; 63–64; 3, С. 16–20].

3 ВИЗНАЧЕННЯ МОДУЛЯ ПРУЖНОСТІ І КОЕФІЦІЄНТА ПОПЕРЕЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ СТАЛІ ПРИ РОЗТЯГАННІ

Мета роботи: ознайомитись з методикою визначення модуля пружності першого роду E і коефіцієнта поперечної деформації μ (коефіцієнта Пуассона) та перевірити закон Р. Гука і сталість відношення поперечної відносної деформації до поздовжньої в межах пропорційності.

Короткі теоретичні відомості

На першому етапі навантаження зразка його подовження Δl для більшості металів лінійно залежить від діючого зусилля P

$$\Delta l = P \cdot l_0 / (E \cdot F_0), \quad (3.1)$$

де l_0 – база, на якій вимірюється подовження;

F_0 – площа поперечного перерізу зразка.

Щоб упевнитись в справедливості закону Гука для сталі, будують діаграму розтягання (рис. 3.1) тільки до площадки текучості в координатах $P \sim \Delta l$.

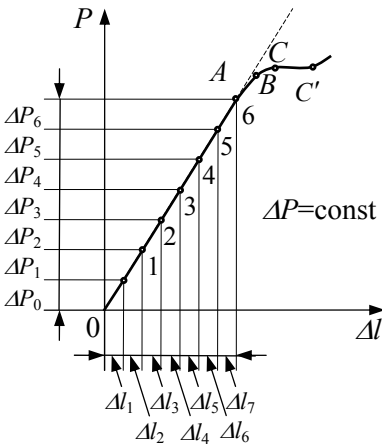


Рисунок 3.1 – Діаграма розтягання маловуглецевої сталі

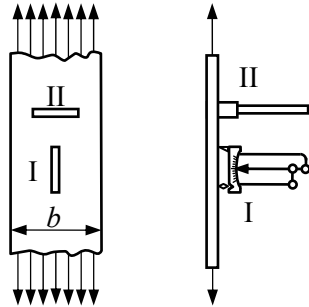


Рисунок 3.2 – Схема розташування тензометрів на зразку

Ця діаграма буде мати вигляд прямої лінії, що і дозволяє визначити модуль поздовжньої пружності (модуль Юнга) за формулою (3.1), яка виражає закон Гука

$$E = \Delta P \cdot l_0 / (F_0 \cdot \Delta l). \quad (3.2)$$

Так як відношення $l_0/F_0 = \text{const}$, то $E = f(\Delta P/\Delta l)$, тобто для визначення E необхідно заміряти подовження зразка Δl на базі l_0 і зафіксувати відповідне йому зусилля ΔP .

Модуль пружності для різних матеріалів відрізняється і характеризує пружні властивості кожного матеріалу (здатність чинити опір зміні форми і розмірів зразка). Модуль пружності вимірюється в таких же одиницях як і напруження, тобто в МПа.

Модуль пружності E являється основною характеристикою пружності матеріалу і дуже часто використовується в різних розрахунках.

Відомо, що при одноосному розтяганні зразок деформується як в поздовжньому так і поперечному напрямку. Досліди показують, що для переважної більшості матеріалів поперечна деформація в 3–4 рази менша, ніж поздовжня.

Абсолютне значення відношення поперечної відносної деформації ε' до відносної поздовжньої деформації ε називається *коефіцієнтом Пуассона* або *коефіцієнтом поперечної деформації* і позначається зазвичай буквою μ

$$\mu = |\varepsilon' / \varepsilon|. \quad (3.3)$$

Для різних матеріалів μ змінюється в межах 0...0,5. Для більшості металів $\mu = 0,3$. Для сталі він змінюється в межах 0,25...0,3. Величина коефіцієнта Пуассона при розтяганні і стисканні однакова, тобто знак зусилля на значення μ не впливає. Для ізотропних матеріалів E і μ , як фізичні константи матеріалів, повністю характеризують їх пружні властивості.

Зразки, вимірювальні прилади і лабораторні установки

При випробуванні на розтягання застосовуються плоскі зразки, довжина яких в 4–5 разів більша ширини, з метою виключення впливу напруженого стану в місцях закріплення зразка на показання тензодатчиків (рис. 3.2). На зразок встановлюють два важільних тензометра

Гуггенбергера (додаток Б): тензометр I – для виміру поздовжніх деформацій і тензометр II – для виміру поперечних деформацій. Замість важільних тензометрів на зразок можна наклеїти електротензометри (додаток Б).

При проведенні дослідів необхідно уникати мертвих ходів приладів, для чого зміни навантаження необхідно робити лише в одному напрямку (як зазвичай, що відповідає зростанню зусилля).

Роботу виконують на розривній машині ВР-100 (додаток А) або інших машинах, які пристосовані для таких досліджень.

Порядок проведення дослідів

Ознайомитись зі схемою розривної машини ВР-100 та з основними правилами техніки безпеки.

Виміряти розміри зразка і визначити площу поперечного перерізу F_0 .

Визначити максимальне зусилля P_{max} , при якому зразок буде деформуватись в межах пружності

$$P_{max} \leq \sigma_{ny} \cdot F_0,$$

де σ_{ny} – границя пропорційності матеріалу зразка.

Щоб упевнитись в існуванні закону пропорційності, необхідно навантажувати зразок рівними ступенями

$$\Delta P = P_{max} / n,$$

де n – кількість ступенів навантаження.

Спочатку необхідно навантажити зразок невеликим зусиллям, яке може бути меншим ніж ΔP (для усунення люфтів) і зафіксувати перші відліки по тензометрам $A_{0(1)}$, $A_{0(11)}$. Потім, навантажуючи зразок рівними ступенями ΔP (не перебільшуючи зусилля P_{max}), зафіксувати і записати в протокол спостережень відліки тензометрів для кожної ступені.

По закінченню дослідів пропонується розвантажити зразок до початкового зусилля і простежити за показаннями тензометрів, які по-

винні співпадати з відліками $A_{0(I)}$, $A_{0(II)}$, що підтверджує деформування зразка в межах пружності.

За даними дослідів визначити прирости показань тензометрів в подовжньому і поперечному напрямку та їх середні величини

$$\Delta A_{j(I)} = A_{j(I)} - A_{j-1(I)}; \quad \Delta A_{j(II)} = A_{j(II)} - A_{j-1(II)};$$

$$j=1, 2, 3.$$

$$\Delta A_{cp(I)} = \sum_{j=1}^3 \Delta A_{j(I)} / 3; \quad \Delta A_{cp(II)} = \sum_{j=1}^3 \Delta A_{j(II)} / 3.$$

Визначити середнє абсолютне подовження зразка (на базі тензометра, що дорівнює 20 мм) в осьовому напрямку та середнє абсолютне зменшення ширини зразка в поперечному напрямку

$$\Delta l = \Delta A_{cp(I)} \cdot K; \quad \Delta l' = \Delta A_{cp(II)} \cdot K,$$

де $K=0,001$ мм – ціна поділки тензометра.

Згідно формули (3.2) визначити модуль пружності E , враховуючи $l_0=20$ мм. Коефіцієнт поперечної деформації μ можна обчислити за формулою (3.2), або як відношення абсолютних деформацій ($\mu=|\Delta l'/\Delta l|$), тому що бази тензометрів однакові.

[1, С. 16–23; 32–35; 2, С. 57–60; 63–64; 3, С. 20–25].

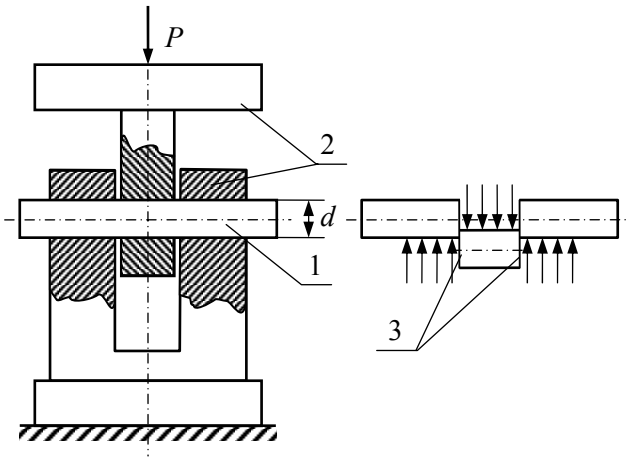
4 ВИПРОБУВАННЯ РІЗНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ЗСУВ

Мета роботи: вивчити характер руйнування і визначити границю міцності при зсуві сталевого зразка та порівняти її з границею міцності при розтяганні, а також визначити границю міцності дерева при сколюванні вздовж волокон.

Короткі теоретичні відомості

Характер руйнування сталі при розтяганні і зсуві різний. При розриві та розтяганні площина руйнування має кристалічний вид, увесь об'єм зразка, особливо в зоні шийки, піддається значній пластичній деформації. При зсуві площина руйнування гладенька. Об'єм зразка, який пластично деформується, незначний. Умовно вважають, що в зоні зрізу діють тільки дотичні напруження, які рівномірно розподілені по площі перерізу F

$$\tau = P/F, \quad (4.1)$$



1 – зразок; 2 – пристрій; 3 – площини зсуву;

Рисунок 4.1 – Схема пристрою для випробування сталевого зразка на подвійний зсув

і при досягненні ними границі міцності відбувається руйнування. В дійсності в зоні руйнування діють також нормальні напруження згинання і зминання, що підтверджується формою зразка після руйнування.

Границя міцності при зсуві завжди менша, ніж при розтяганні.

Для сталі

$$\tau_{мц} = (0,6 \dots 0,8) \sigma_{мц}. \quad (4.2)$$

Міцність при зсуві зазвичай визначають за схемою подвійного зрізу (рис. 4.1). Міцність при зсуві деревини як анізотропного матеріалу залежить від напрямку дії зусилля. Зазвичай визначають границю міцності при сколюванні поздовж волокон, вважаючи, що напруження розподіляються рівномірно на площі F перерізу:

$$\tau_{мц} = P_{мц} / F. \quad (4.3)$$

Характер руйнування при сколюванні крихкий. Руйнування відбувається без значних залишкових деформацій.

Зразки, вимірювальні прилади і лабораторні установки

Для випробування сталі на зріз застосовують зразки циліндричної форми (рис. 4.1) діаметром 6...20 мм. Опір деревини сколюванню визначають на зразках за ГОСТ 16483.5-3 (рис. 4.2). Для обміру зразків застосовують штангенциркуль зі шкалою 0...150 мм і ціною поділки 0,1 мм.

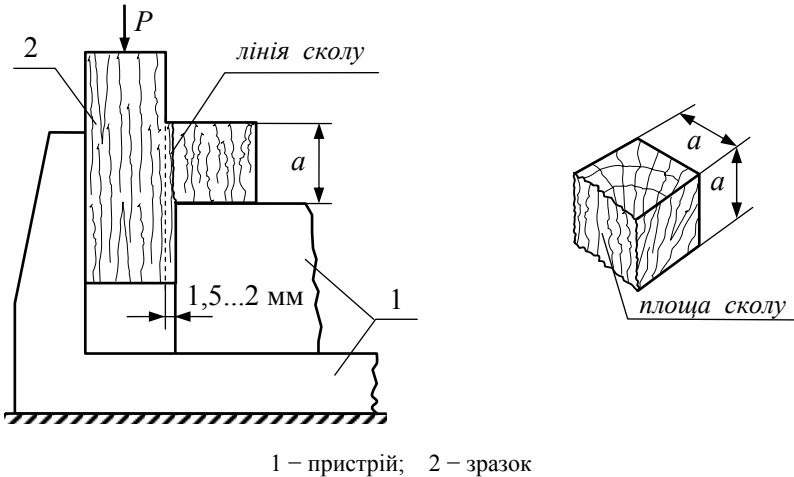


Рисунок 4.2 – Схема пристрою для випробування дерев'яного зразка на сколювання уздовж волокон

Роботу виконують на розривній машині ВР-100 (додаток А) із застосуванням реверсу або на інших машинах, які пристосовані для таких досліджень.

Порядок проведення досліду

Ознайомитись з побудовою розривної машини ВР-100 та з основними правилами з техніки безпеки.

Обміряти розміри зразків і визначити площі поперечного перерізу F_0 .

При випробуванні сталі на зріз і дерева на сколювання зразки необхідно вставити в спеціальні пристрої (рис. 4.1; 4.2), які почергово, разом зі зразком, поміщають в робочий простір реверсу.

При навантаженні необхідно уважно стежити за поведінкою зразка і після його руйнування зафіксувати максимальне зусилля та увімкнути машину на зворотний хід рухомого захвата, забезпечивши можливість вільного зняття пристрою і залишків зразка.

Проаналізувати характер і вид руйнування та за формулою (4.3) обчислити основні механічні характеристики міцності досліджуваних матеріалів.

[1, С. 25–31; 2, С. 89–92; 3, С. 28 – 30].

5 ВИЗНАЧЕННЯ МОДУЛЯ ПРУЖНОСТІ ДРУГОГО РОДУ ПРИ КРУЧЕННІ СТАЛЕВОГО ЗРАЗКА

Мета роботи: ознайомитись з методикою визначення модуля пружності другого роду G (модуля зсуву) і упевнитись в існуванні пропорційної залежності між крутним моментом та абсолютним кутом закручування зразка.

Короткі теоретичні відомості

При крученні стержня круглого або кільцевого поперечного перерізу залежність між крутним моментом $M_{кр}$ і кутом закручування φ залишається пропорційною до деякої межі, яка називається границею пропорційності $\tau_{пц}$. В цьому інтервалі зразок деформується в межах пружності, дотримуючись закону Гука

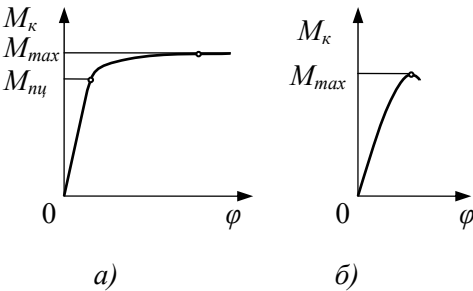


Рисунок 5.1 – Діаграми кручення для сталевого (а) і чавунного (б) зразків

$$\varphi = \frac{M_{кр} \cdot l}{G \cdot I_p}, \quad (5.1)$$

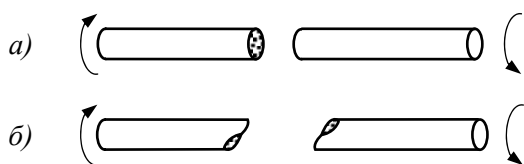
де l – база, на якій вимірюється кут закручування;

I_p – полярний момент інерції поперечного перерізу зразка.

При подальшому навантаженні сталевого зразка (пластичний матеріал) пропорційна залежність порушується, спостерігається швидке зростання кута закручування при порівняно малому збільшенні крутного моменту (рис. 5.1, а). Зразок руйнується без утворення шийки від максимальних дотичних напружень, які виникають в площинах, перпендикулярних до осі (рис. 5.2, а), тобто руйнування відбувається внаслідок зсуву.

Якщо випробувати чавунний зразок (крихкий матеріал), то пропорційна залежність між крутним моментом і кутом закручування не спостерігається (рис. 5.1, б). Зразок руйнується від нормальних

(головних) напружень, що виникають в площинах під кутом 45° до осі (рис. 5.2, б). Тут руйнування відбувається шляхом відриву.



Теоретично головні напруження σ_1 та σ_3 рівні між собою і протилежні за знаком, тобто

$$\sigma_1 = \tau; \quad \sigma_3 = -\tau.$$

Рисунок 5.2 – Характер руйнування сталевого (а) і чавунного (б) циліндричних зразків при крученні

Зразки, вимірвальні прилади і лабораторні установки

Відповідно ГОСТ 3565-80 для випробування металів на кручення застосовують зразки круглого поперечного перерізу діаметром робочої частини 10 мм і розрахункової довжини 100 мм і 50 мм, схема яких показана на рис. 5.3.

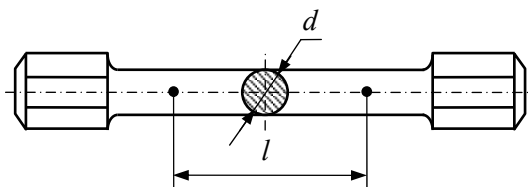


Рисунок 5.3 – Ескіз зразка для випробування на кручення

Якщо застосовують зразки інших розмірів, то при цьому роблять відповідні помітки і зазначають дійсні розміри.

Кут повороту одного перерізу зразка по відношенню до другого вимірюють за допомогою механічного кутоміра, пристрою, облаштованого індикатором годинникового типу, який монтується на такій відстані R від осі зразка, що ціна поділки індикатора (0,01 мм) відповідає 1 хв. кута повороту (рис. 5.4).

Механічний кутомір складається з двох установочних кілець 2, кожне з яких закріплюється на робочій частині зразка 1 радіально розташованими гвинтами 5 на відстані одне від одного, яка називається базою вимірювання l . Симетрична установка кілець 2 відносно осі зразка забезпечується центруванням їх за допомогою трубчатого

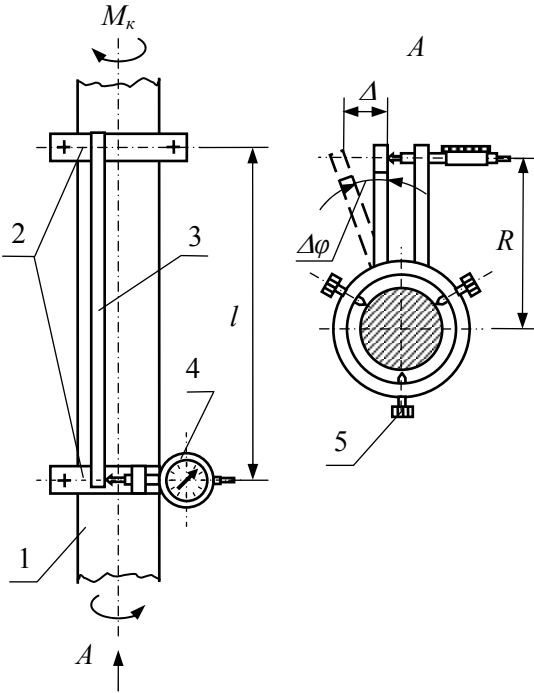


Рисунок 5.4 – Схема механічного кутоміра

ділити на відстань R , тобто

$$C=0,01/R. \quad (5.2).$$

Роботу виконують на розривній машині КМ-50 (додаток А).

Порядок проведення дослідів

Ознайомитись з побудовою машини КМ-50 та з основними правилами техніки безпеки.

Виміряти діаметр зразка d і визначити полярний момент інерції I_p та полярний момент опору W_p поперечного перерізу.

шаблону. Відстань між кільцями контролюється плоскими шаблонами з відповідною базою.

При крученні зразка одне кільце повертається відносно другого, внаслідок чого планка 3, що жорстко закріплена на одному кільці 2, переміщає рухомий шток індикатора 4, корпус якого закріплений на другому кільці. Переміщення стрілки індикатора пропорційне куту закручування зразка.

Щоб ціну поділки індикатора обчислити в радіанах, необхідно одну поділку в міліметрах по-

Визначити максимальний крутний момент M_{kmax} , при якому зразок буде деформуватись в межах пружності

$$M_{kmax} \leq \tau_{nc} \cdot W_p,$$

де τ_{nc} – границя пропорційності матеріалу зразка.

Щоб упевнитись у відповідності закону пропорційності, необхідно навантажувати зразок рівними ступенями

$$\Delta M_k = M_{kmax} / n,$$

де n – кількість ступенів навантаження.

Встановити механічний кутомір на зразок і закріпити його в захватах машини. База кутоміра $l=100$ мм.

Спочатку необхідно навантажити зразок невеликим моментом, який може бути меншим, ніж ΔM_k , (для усунення люфтів в захватах машини) і зафіксувати перший відлік по індикатору. Потім, навантажуючи зразок рівними ступенями ΔM_k (не перевищуючи момент M_{kmax}), зафіксувати і записати в протокол спостережень відліки по шкалі індикатора для кожної ступені.

За даними досліду визначити прирости показань індикатора та їх середню величину

$$\Delta A_j = A_j - A_{j-1};$$

$$j=1, 2, 3;$$

$$\Delta A_{cp} = \sum_{j=1}^3 \Delta A_j / 3.$$

Визначити середню величину кута закручування $\Delta \varphi_{cp}$ і модуль зсуву, переписавши формулу (5.1) відносно G

$$\Delta\varphi_{cp} = \Delta A_{cp} \cdot C;$$

$$G = \frac{\Delta M_k \cdot l}{\Delta\varphi_{cp} \cdot I_p}.$$

Результати експерименту порівняти з теоретичною залежністю між трьома фізичними величинами матеріалу (E , G , μ)

$$G = E/2(1 + \mu).$$

Коефіцієнт поперечної деформації μ та модуль пружності першого роду E виписати за результатами лабораторної роботи №3.

[1, С. 68–70; 2, С. 86–89; 3, С. 25–27].

6 ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛОСКОГО НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ПРИ КРУЧЕННІ ТРУБ ТОНКОСТІННОГО ПРОФІЛЮ

Мета роботи: перевірити експериментально теоретичні залежності між напруженнями і деформаціями при чистому зсуві на прикладі кручення тонкостінних труб та визначити головні напруження на їх поверхні.

Короткі теоретичні відомості

Експериментальне вивчення деформацій і напружень в деталях машин або елементах конструкцій різних споруд має певні труднощі і вимагає інколи багато часу та матеріальних витрат. Потреба в таких дослідженнях спричинюється різними обставинами. Одна з них – необхідність перевірки розрахункових формул, які одержані на підставі різних гіпотез та припущень. В іншому разі розв’язати задачу теоретичним шляхом буває неможливо внаслідок складності конфігурації деталі. Тому в таких випадках для визначення напружень застосовують метод тензометрії (додаток Б) – вимірюють малі деформації в окремих точках, а потім переходять від деформацій до напружень з використанням узагальненого закону Гука.

Математичне зображення цього закону має наступний вигляд

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{1}{E} [\sigma_1 - \mu \cdot (\sigma_2 + \sigma_3)]; \\ \varepsilon_2 &= \frac{1}{E} [\sigma_2 - \mu \cdot (\sigma_1 + \sigma_3)]; \\ \varepsilon_3 &= \frac{1}{E} [\sigma_3 - \mu \cdot (\sigma_1 + \sigma_2)]. \end{aligned} \right\} \quad (6.1)$$

Припустимо, що $\sigma_2=0$ (випадок плоского напруженого стану). Тоді залежності (6.1) набувають такий вид

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{1}{E} (\sigma_1 - \mu \cdot \sigma_3); \\ \varepsilon_2 &= \frac{1}{E} [-\mu \cdot (\sigma_1 + \sigma_3)]; \\ \varepsilon_3 &= \frac{1}{E} (\sigma_3 - \mu \cdot \sigma_1). \end{aligned} \right\} \quad (6.2)$$

Таким чином, при відомих напруженнях σ_1 і σ_3 можна визначити деформації ε_1 , ε_2 і ε_3 .

В деяких випадках необхідно вирішувати зворотню задачу: за відомими ε_1 і ε_3 визначити σ_1 і σ_3 . Виконавши прості перетворення залежностей (6.2), одержимо

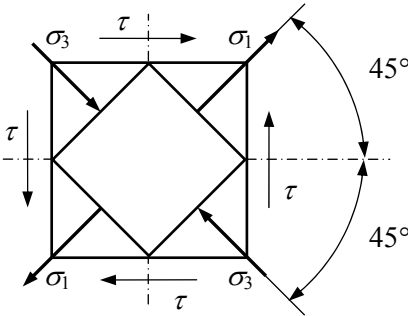


Рисунок 6.1 – Схема плоского напруженого стану при чистому зсуві

$$\sigma_1 = \frac{E}{1 - \mu^2} (\varepsilon_1 + \mu \cdot \varepsilon_3); \quad (6.3)$$

$$\sigma_3 = \frac{E}{1 - \mu^2} (\varepsilon_3 + \mu \cdot \varepsilon_1). \quad (6.4)$$

Визначити σ_1 і σ_3 за формулами (6.3), (6.4) можна тільки в тому випадку, якщо відомі напрямки головних деформацій ε_1 і ε_3 .

В окремому випадку плоского напруженого стану, коли на головних площадках діють однакові за

величиною і протилежні за знаком головні напруження $\sigma_1 = -\sigma_3 = \sigma$ (рис. 6.1), екстремальні дотичні напруження чисельно дорівнюють головним напруженням

$$\tau = \pm \sigma,$$

а нормальні напруження на площадках з екстремальними дотичними напруженнями дорівнюють нулю.

Такий випадок плоского напруженого стану називається *чистим зсувом*, а площадки, на яких діють тільки дотичні напруження, – *площадками чистого зсуву*.

Дійсно, якщо

$$\sigma_\alpha = \sigma_1 \cdot \cos^2 \alpha + \sigma_3 \cdot \sin^2 \alpha = \sigma \cdot \cos^2 \alpha - \sigma \cdot \sin^2 \alpha = \sigma \cdot \cos 2\alpha ;$$

$$\tau_\alpha = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cdot \sin 2\alpha = \frac{\sigma - (-\sigma)}{2} \cdot \sin 2\alpha = \sigma \cdot \sin 2\alpha ,$$

то

$$\alpha=0^\circ \rightarrow \sigma_\alpha=\sigma, \quad \tau_\alpha=0;$$

$$\alpha=45^\circ \rightarrow \sigma_\alpha=0, \quad \tau_\alpha=\sigma,$$

$$\alpha=90^\circ \rightarrow \sigma_\alpha=\sigma, \quad \tau_\alpha=0.$$

Таким чином, головні напруження при чистому зсуві діють по площинам, які нахилені під кутом 45° до площадок зсуву. При цьому $\sigma_1=\tau$, $\sigma_3=-\tau$, а $\varepsilon_1=-\varepsilon_3$. Якщо позначити головні деформації через ε , то формули (6.3) і (6.4) можна переписати так

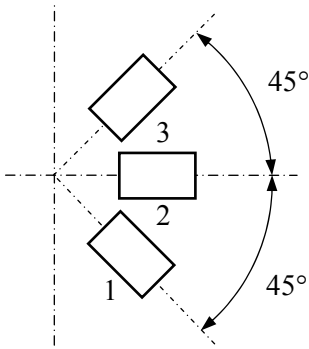


Рисунок 6.2 – Схема розташування електродатчиків

$$\sigma_1 = \frac{E}{1 + \mu} \cdot \varepsilon; \quad (6.5)$$

$$\sigma_3 = -\frac{E}{1 + \mu} \cdot \varepsilon. \quad (6.6)$$

Наочним прикладом явища чистого зсуву є кручення зразка у вигляді тонкостінної труби, в поперечних і поздовжніх перерізах якої діють тільки дотичні напруження τ (рис. 6.1).

Електродатчики 1 і 3, наклеєної на поверхню труби розетки (рис. 6.2), орієнтовані під кутом 45° до твірної і призначені для виміру головних деформацій ε_1 і ε_3 . Електродатчик 2, орієнтований поздовж твірної труби, не повинен показувати зміни відліку, тобто ε_2 повинно дорівнювати нулю.

Зразки, вимірювальні прилади і лабораторні установки

Дослід проводять на лабораторній установці типу СМ14М, схема якої показана на рис. 6.3. До сталевій пластини 1 жорстко закріплені своїми кінцями труби 2 і 3. До інших кінців труб також жорстко прикріплені важелі 4 і 5, які мають шарніри в опорах 6, а їх верхні кінці стягуються гвинтом за допомогою колеса 10. Зусилля натягу вимірюється динамометром 9. При цьому труби будуть закручуватись крутним моментом

$$M_{кр} = P \cdot l,$$

де P – зусилля натягу, яке визначається за шкалою динамометра;
 l – довжина важеля, яка вимірюється від осі гвинта до осі труби.

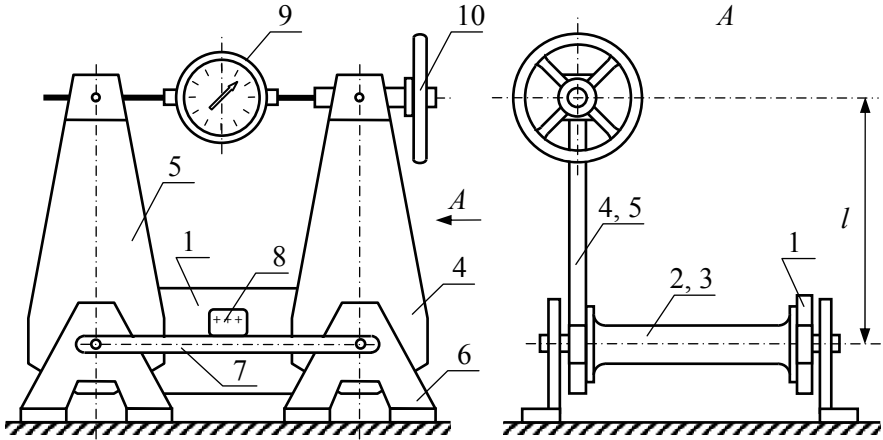


Рисунок 6.3 – Схема лабораторної установки

Для того, щоб труби не піддавались згинанню, між ними знаходиться стержень 7. Розетка електродатчиків наклеєна на одній із труб за схемою, яка показана на рис. 6.2. Компенсаційні датчики знаходяться на пластинці, прикріпленій до стрижня 7, разом з клемником 8 для підключення електродатчиків до реєстраційного приладу.

Порядок проведення дослідів

Ознайомитись з основними правилами техніки безпеки.

Виміряти розміри зразка і довжину плеча важеля l .

Визначити ціну поділки шкали реєстраційного приладу “К” і ступінь навантаження, враховуючи, що динамометр розрахований на максимальне зусилля 5 кН (500 кг·с), при якому крутний момент дорівнює 1,5 кН·м.

Спочатку навантажити зразки за допомогою колеса зусиллям $P_0=1$ кН (100 кг·с) і зафіксувати початкові відліки A_i на шкалі приладу. Потім, навантажуючи зразок рівними ступеннями ΔP , зафіксувати і

записати в протокол спостережень відліки на шкалі приладу для кожної ступені $A_{i(j)}$.

По закінченню досліду визначити прирости показань електродатчиків та їх середні величини

$$\Delta A_{i(j)} = A_{i(j)} - A_{i(j-1)};$$

$$\Delta A_{cp(j)} = \sum_{j=1}^3 \Delta A_{i(j)} / 3,$$

де $i=1, 2, 3$ – номер датчика;

$j=1, 2, 3$ – номер ступені навантаження.

Обчислити приріст головних деформацій

$$\Delta \varepsilon_i = \Delta A_{cp(i)} \cdot K.$$

Фактично одержані деформації можуть, внаслідок неточності дослід, дещо відрізнятися за абсолютною величиною. Тоді $\Delta \varepsilon$ необхідно визначити як середнє із абсолютних значень $\Delta \varepsilon_1$ і $\Delta \varepsilon_3$, тобто

$$\Delta \varepsilon = (|\Delta \varepsilon_1| + |\Delta \varepsilon_3|) / 2.$$

За формулами (6.5) і (6.6) визначити приріст головних напружень $\Delta \sigma_1$ і $\Delta \sigma_3$

$$\Delta \sigma_1 = \Delta \varepsilon \cdot E / (1 + \mu); \quad \Delta \sigma_3 = -\Delta \varepsilon \cdot E / (1 + \mu).$$

Для перевірки експериментальних даних можна скористатися тим, що при крученні

$$\sigma_1 = -\sigma_3 = \tau_{\max},$$

де τ_{\max} – максимальне дотичне напруження на поверхні труби, яке визначається за формулою

$$\tau_{\max} = M_{kp} / W_p.$$

Користуючись даною формулою необхідно прийняти

$$M_{kp} = \Delta P \cdot l;$$

$$W_p = \frac{\pi \cdot D^3}{16} (1 - c^4),$$

де $c = d / D$;

D, d – зовнішній і внутрішній діаметр труби.

[1, С. 70–71; 73–74; 2, С. 181–183; 4, С. 32–36].

7 ДОСЛІДЖЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ НАПРУЖЕНЬ ПРИ РОЗТЯГАННІ ПЛАСТИНИ З ОТВОРОМ

Мета роботи: встановити характер розподілу напружень в поперечному перерізі пластини, ослабленої круглим отвором, та визначити коефіцієнт концентрації напружень на краю отвору.

Короткі теоретичні відомості

Відомо, що при розтяганні пластини в її поперечних перерізах, достатньо віддалених від місця прикладання зовнішніх сил або від місця різкої зміни форми поперечного перерізу (принцип Сен-Венана), нормальні напруження розподіляються рівномірно (рис. 7.1, переріз AB) і визначаються за відомою формулою

$$\sigma = P / F_0, \quad (7.1)$$

де $F_0 = b \cdot t$ – площа поперечного перерізу AB .

У багатьох випадках з конструкційних, технологічних або інших міркувань, суцільність поперечних перерізів елементів конструкції порушується різного роду отворами, викружками, східчастими і галтельними переходами та інш. Наявність різкої зміни площі поперечного перерізу приводить до нерівномірного розподілу напружень (рис. 7.1, переріз CD).

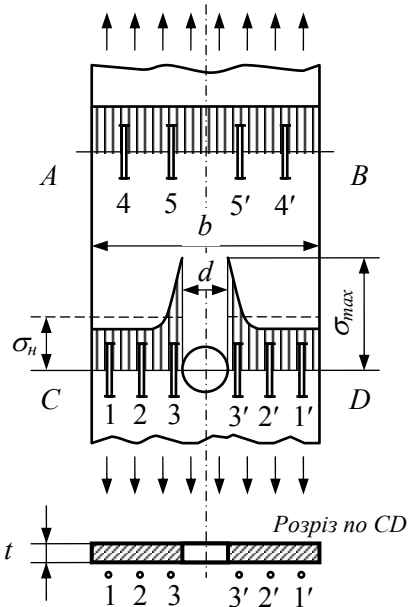


Рисунок 7.1 – Схема розташування електродатчиків і розподілення нормальних напружень при випробуванні пластини з отвором

В безпосередній близькості до ослаблення (отвору) виникають локальні (місцеві) напруження, які в декілька разів перебільшують номінальні. Виникає так звана *концентрація*

напружень, яка суттєво впливає на несучу здатність конструкції в цілому. Кількісною мірою концентрації напружень служить *теоретичний коефіцієнт концентрації*, який визначається як відношення максимального напруження (на контурі отвору) до середнього (номінального), тобто

$$\alpha_T = \sigma_{\max} / \sigma_n, \quad (7.2)$$

де $\sigma_n = P / F_1$ – номінальне напруження в ослабленому перерізі;

$F_1 = (b - d) \cdot t$ – площа поперечного перерізу з урахуванням отвору (площа нетто).

Коефіцієнт концентрації називають теоретичним, так як досліди проводять в межах пружних деформацій. Коефіцієнт α_T залежить від форми і розмірів концентратора.

Зазвичай коефіцієнт концентрації визначають аналітичними методами теорії пружності. В практиці інженерних розрахунків широке розповсюдження мають також і наближені методи, наприклад, Верховського А.В., Абрамова В.В. та інші.

Експериментально коефіцієнт концентрації визначають також поляризаційно-оптичним методом, методом покриттів, методом муарових смужок та іншими. При виконанні даної роботи використовують метод електротензометрії (додаток Б).

Зразки, вимірювальні прилади і лабораторні установки

Дослід проводять на розривній машині ВР-100 або інших машинах, які пристосовані для таких досліджень. Зразок являє собою сталеву або дюралеву пластину прямокутного поперечного перерізу шириною b і товщиною t , яка має симетричний отвір діаметром d .

Для проведення досліду на поверхню пластини симетрично осі на відстанях u_i наклеєні електродатчики (1, 2, 3 і 1' 2', 3'), за допомогою яких визначаються напруження в небезпечному перерізі CD (рис. 7.1). Електродатчики 4, 5, 4', 5' наклеєні для з'ясування розподілу напружень в перерізі AB , віддаленому від отвору.

Показання датчиків фіксується реєстраційним приладом за містковою схемою (додаток Б).

Порядок проведення дослідів

Ознайомитись з побудовою розривної машини ВР-100 та з основними правилами техніки безпеки.

Виміряти розміри зразка і діаметр отвору та визначити ціну поділки шкали реєстраційного приладу “К”.

Визначити максимальне зусилля P_{max} , при якому зразок буде деформуватись в межах пружності

$$P_{max} \leq \sigma_{nc} \cdot F,$$

де σ_{nc} – границя пропорційності матеріалу зразка.

Необхідно навантажувати зразок рівними ступенями

$$\Delta P = P_{max} / n,$$

де n – кількість ступенів навантаження.

Спочатку навантажити зразок зусиллям, приблизно рівним ΔP , і зафіксувати початкові відліки $A_{i(0)}$ на шкалі приладу. Потім, навантажуючи зразок рівними ступенями ΔP , зафіксувати і записати в протокол спостережень відліки на шкалі приладу при кожній ступені $A_{i(j)}$.

По закінченню дослідів пропонується визначити прирости показань електродатчиків та їх середні величини

$$\Delta A_{i(j)} = A_{i(j)} - A_{i(j-1)};$$

$$\Delta A_{i(cp)} = \sum_{j=1}^3 \Delta A_{i(j)} / 3.$$

Помноживши середній приріст на ціну поділки приладу і модуль пружності, обчислюють для кожної точки середній приріст напружень

$$\Delta \sigma_{(i)} = \Delta A_{i(cp)} \cdot K \cdot E.$$

Якщо ціна поділки приладу виражається в мегапаскалях (МПа), тоді

$$\Delta\sigma_{(i)} = \Delta A_{i(cp)} \cdot K.$$

Теоретичний коефіцієнт концентрації напружень обчислити за формулою

$$\alpha_T = \Delta\sigma_3 / \Delta\sigma_n,$$

де $\Delta\sigma_3$ – середнє напруження в точці наклейки електродатчиків 3 та 3' безпосередньо біля отвору;

$\Delta\sigma_n = \Delta P / (b-d) \cdot t$ – номінальне напруження.

За результатами дослідів побудувати епіюру нормальних напружень в небезпечному перерізі пластини і порівняти експериментальні та теоретичні дані.

Для перевірки експериментальних даних можна скористатися наступною теоретичною формулою [7, 8]

$$\Delta\sigma_{(i)} = \frac{\Delta P}{2 \cdot b \cdot t} \left(2 + \frac{r^2}{y_i^2} + 3 \cdot \frac{r^4}{y_i^4} \right),$$

де y_i – відстань від осі зразка до датчика;

r – радіус отвору.

[1, С. 65–68; 2, С. 140–144; 4, С. 15–19].

8 ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ЦЕНТРА ЗГИНАННЯ ТОНКОСТІННОЇ КОНСОЛЬНОЇ БАЛКИ ШВЕЛЕРНОГО ПРОФІЛЮ

Мета роботи: вивчити явище закручування при згинанні тонкостінної балки відкритого несиметричного профілю і експериментально перевірити розрахункову формулу для визначення центра згинання.

Короткі теоретичні відомості

До тонкостінних відносяться такі профілі, довжина яких значно більша основних розмірів поперечного перерізу (y 8–10 разів), а останні, в свою чергу, набагато більші (не менш ніж у 8–10 разів), ніж товщина стінок.

За обрисом поперечного перерізу розрізняють два типи профілів: закриті і відкриті.

Головна особливість тонкостінних профілів полягає в тому, що при навантаженнях, які створюють крутіння, їх поперечні перерізи в процесі деформування не залишаються плоскими, а скривлюються. Відбувається так звана депланація перерізів, яка пов'язана з переміщеннями точок з площини поперечного перерізу уздовж осі стержня. В стержнях відкритого профілю депланація перерізів має значний прояв, що суттєво впливає на умову їх роботи під навантаженням. В стрижнях закритого профілю депланація перерізів проявляється в меншій мірі і її вплив порівняно невеликий.

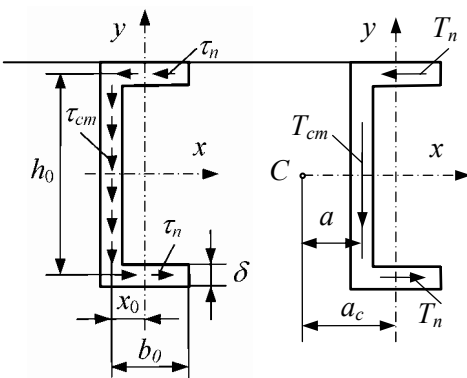


Рисунок 8.1 – Схема розподілення дотичних напружень в перерізі балки відкритого профілю

Відомо, що при згинанні тонкостінного стержня відкритого профілю в його поперечному перерізі виникають дотичні напруження τ_n і τ_{cm} , яким в сукупності еквівалентні дотичні зусилля T_n і T_{cm} , що діють відповідно в полках та стінці стрижня (рис. 8.1).

При цьому дотичні зусилля T_n утворюють пару сил, яка закручує стрижень навколо його осі.

Для того, щоб згинання було плоским, а не супроводжувалось закручуванням, необхідно, щоб рівнодійна зовнішніх сил, яка дорівнює рівнодійній Q_y всіх дотичних напружень в поперечному перерізі, проходила не через центр ваги перерізу, а через деяку іншу точку C , розташовану інколи навіть за межами перерізу. Ця точка називається центром згинання або центром жорсткості перерізу.

Для стрижня швелерного профілю положення центра згинання визначається координатою a , яка відраховується від серединної лінії стінки, тобто

$$a = \frac{3 \cdot b_0^2}{6 \cdot b_0 + h_0}, \quad (8.1)$$

де b_0 – розрахункова ширина полички;

h_0 – розрахункова висота стінки.

Якщо положення центра згинання відраховувати від центру ваги поперечного перерізу швелера, який визначається координатою x_0 , то формулу (8.1) можна переписати так

$$a_c = a + x_0 - \delta/2, \quad (8.2)$$

де δ – товщина стінки профілю;

x_0 – координата центра ваги швелера.

Зразки, вимірювальні прилади і лабораторні установки

Для дослідів застосовують зразок у вигляді гнутого швелера довжиною l і розмірами поперечного перерізу $60 \times 30 \times 1,5$ мм, виготовленого з листового матеріалу Ст. 3. Переміщення в процесі деформування зразка вимірюють за допомогою індикаторів годинникового типу з ціною поділки $0,01$ мм.

Установка складається з масивного стола 1 (рис. 8.2), до якого закріплений жорстко одним кінцем зразок 2 і гирьова підвіска 3 з набором вантажів. На вільному кінці зразка закріплена рейка 5 зі шкалою, по якій може переміщуватись повзун 6 з гирьовою підвіскою. На кінцях рейки закріплені дві тарілочки, які служать упорами для штоків індикаторів 4, укріплених на нерухомих кронштейнах 7.

Порядок проведення дослідів

Ознайомитись з побудовою установки і закріпити в кронштейнах індикатори.

В журнал лабораторних робіт записати розміри перерізу зразка h , b і δ (рис. 8.3).

Виставити повзун 2 (рис. 8.3) в центрі ваги перерізу, що відповідає поділці “10” шкали рейки 1. Виставити стрілки індикаторів 3 на “0” і навантажити зразок вантажем масою 1,5 кг. Якщо показання індикаторів різні, то це означає, що відбувається явище закручування зразка.

Пересуваючи повзун по рейці, домогтися такого положення вантажу, коли показання індикаторів будуть однаковими за величиною і знаком. Точка шкали рейки, яка відповідає цьому положенню вантажу, і визначає положення центра згинання C (рис. 8.3).

Для контролю знайденого положення центру згинання, необхідно додатково навантажити зразок двічі вантажем масою по 1,5 кг. Якщо приріст показань індикаторів залишається однаковим, то положення центра згинання знайдено правильно.

Експериментальне значення a_c^e визначається за формулою, яка згідно рис. 8.3 запишеться у вигляді

$$a_c^e = l_0 - l_c . \quad (8.3)$$

Підрахувати координату центра згинання гнучого швелера за теоретичними формулами (8.1) і (8.2) та порівняти одержані результати з експериментальними даними.

[1, С. 87–92; 2, С. 190–198; 4, С. 52–56].

ЛІТЕРАТУРА

1. Афанасьев В.А., Марьин В.А. Лабораторный практикум по сопротивлению материалов. – М. : Наука, 1975. – 287 с.
2. Сопротивление материалов. Лабораторные работы / И.А. Цурпал, Н.П. Барабан, В.М. Швайко. – К. : Вищ. шк., 1988. – 247 с.
3. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу “Сопротивление материалов”. – Запорожье. : ЗМИ, 1989. – 39 с.
4. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу “Опір матеріалів” / Укл.: В.В. Абрамов, І.Г. Борисенко, А.О. Будник, та інш. – Запоріжжя, ЗМІ. – 1992. – 107 с.
5. Методичні вказівки до використання програмного комплексу для самостійної роботи студентів з курсу “Опір матеріалів” для студентів всіх спеціальностей і форм навчання / Укл.: А.О.Будник, В.Г. Шевченко, С.Л. Рягін, Е.А. Бельчиков. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2003. – 7 с.
6. Опір матеріалів: Підручник / Г.С. Писаренко, О.Л. Квітка, Е.С. Уманський; за ред. Г.С. Писаренка. – 2-ге вид., доп. і переробл. – К. : Вища шк., 2004. – 655 с.
7. Савін Г.М., Тульчій В.І. Довідник з концентрації напружень. – К. : Вища шк., 1976. – 410 с.
8. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости, перевод с англ. – Гл. редакция физ.-мат. лит. изд-ва «Наука», 1975. – 576 с.

Додаток А

ЛАБОРАТОРНЕ УСТАТКУВАННЯ

А.1 Розривні випробувальні машини ВР-100, УВМ-50, ГРМ-5

При вивченні фізико-механічних властивостей матеріалів в лабораторіях кафедри механіки ЗНТУ використовують розривні машини ВР-100, УВМ-50 або ГРМ-5. В силовому ланцюгу цих машин застосовують гідравлічний привід, а у вимірювальній системі – торсіонний, важільно-маятниковий або пружинний вимірювач сили.

Масштаб запису зусилля залежить від шкали, яку встановлюють під час випробувань, а переміщення можна записувати в масштабі, який залежить від технічних даних пристрою для побудови діаграм.

Машини УВМ-50 і ГРМ-5 відрізняються від машини ВР-100 (більш сучасної) конструктивним зовнішнім оформленням, потужністю та можливістю випробовування зразків або деталей більших розмірів.

Тому більш детальний опис розривної машини ВР-100 (рис. А.1.1) наведено нижче. Вона призначена для статичних випробувань на розтягання, а при наявності реверсу і відповідних пристроїв, на стискування, зріз та згинання стандартних зразків, виготовлених із різних матеріалів.

Технічні характеристики машини ВР-100:

- тип машини – гідравлічна з торсіоним вимірювачем сили і автоматичним записом діаграми в координатах: “зусилля – переміщення”; “зусилля – деформація”; “зусилля – швидкість деформування”;
- максимальне зусилля – 100 кН;
- діапазон шкали зусиль – 2...20 кН, 5...50 кН, 10...100 кН;
- швидкість переміщення активного захвату в холостому режимі – 3...360 мм/хв;
- робочий хід активного захвату – 400 мм;
- діапазон швидкості навантаження – 0,1...10 кН/с.

Машина ВР-100 забезпечує:

- деформування та руйнування зразка;
- вимірювання зусилля та переміщення;

- ▶ підтримування заданої швидкості навантаження;
- ▶ запис переміщень в масштабі від 1:1 до 50:1 і деформацій від 100:1 до 500:1.

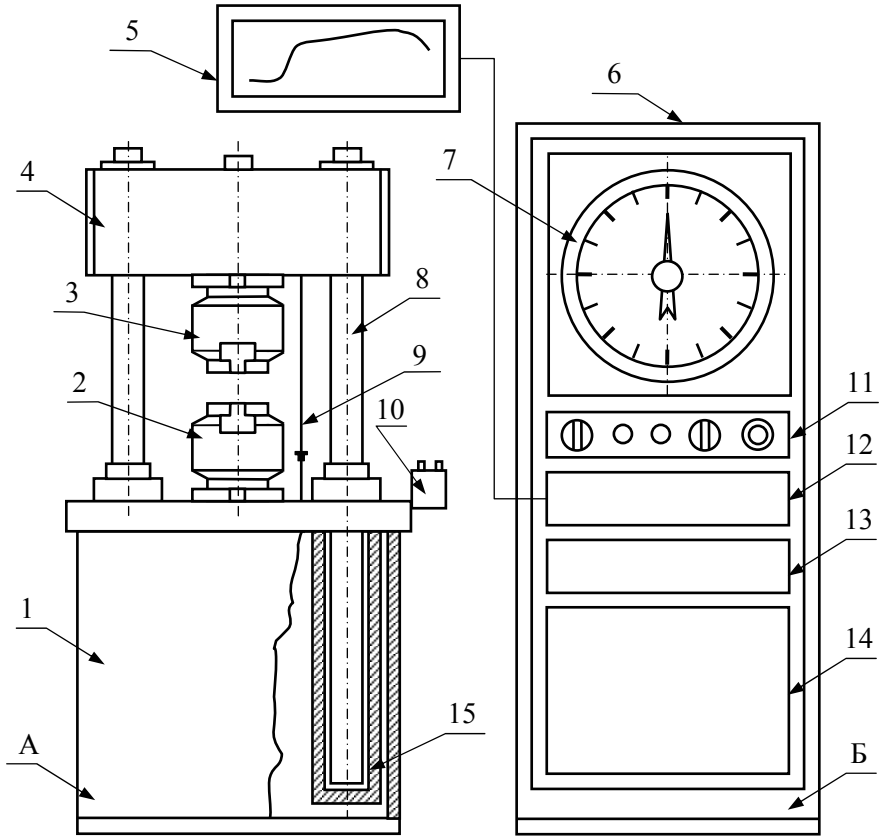


Рисунок А.1.1 – Випробувальна машина ВР-100

Машина ВР-100 складається безпосередньо із самої випробувальної машини А (рис. А.1.1) та пульта керування Б, який з'єднаний з машиною гідравлічними трубопроводами і електропроводами.

Випробувальна машина має наступні основні вузли та механізми – корпус 1 з робочими гідроциліндрами 15; силову раму, яка складається із двох тяг 8 і верхньої рухомої траверси 4; тяги 9, яка верхнім кінцем

жорстко з'єднана з рухомою траверсою 4, а нижнім з фотодіодним перетворювачем переміщень і кінцевими мікровимикачами; пасивний (нерухомий) 2 і активний (рухомий) 3 захвати; вимикачі 10, за допомогою яких приводять в дію вставки захватів, що затискують зразок.

Пульт керування складається з таких частин і блоків: корпусу 6; насосної станції 14, розташованої в нижній частині пульта; шкали 7 вимірювача сили; блоку керування 11 з відповідними кнопками і регуляторами; блоку індикації 12, на який подаються сигнали з перетворювачів переміщень та зусиль і передаються потім на діаграмний пристрій 5; блок гідравлічної арматури 13 з відповідними кранами, золотниками і перепускними клапанами.

А.2 Випробувальна машина на кручення КМ-50

Машина КМ-50 відноситься до типу випробувальних машин з механічним навантаженням зразка і важільно-маятниковим вимірювачем сили, що дає можливість визначати основні фізико-механічні характеристики різних матеріалів при крученні.

Технічна характеристика машини:

- тип машини – механічна з важільно-маятниковим вимірювачем сили і автоматичним записом діаграми в координатах “крутний момент – кут закручування”;
- максимальний крутний момент – 0,5 кН·м;
- діапазон шкали моментів, кН·м: А – 0...0,5; Б – 0...0,2; В – 0...0,1;
- швидкість навантаження, об/хв – 0,3 або 1;
- найбільша відстань між захватами – 700 мм;
- вид навантаження – механічний привод.

Машина КМ-50 має наступні основні вузли і механізми (рис. А.2.1): механічний привод, який міститься в корпусі 1; жорстку раму, яка утворена двома колонами 6 і верхньою траверсою 8; захвати 4,7; вимірювач сили 9. Механізм привода діє так: електродвигун через клинопасову передачу приводить в дію черв'ячну пару, яка через зубчасті передачі обертає ходовий гвинт, на якому закріплений нижній рухомий захват 4. Крім електропривода машина оснащена ручним приводом, який має рукоятку 5 та ланцюгову передачу. Для закріплення зразків різної довжини нижній (активний) захват 4 можна переміщувати вгору чи вниз маховиком 2. Кут закручування в межах 360°

відраховують за допомогою шкали 3, яка закріплена на ходовому гвинті.

Показання шкали кутів закручування відповідає відносному повороту захватів машини, так як поправка на поворот верхнього захвату вноситься автоматично корегуючим пристроєм 13. Для створення врівноважуючого моменту призначена головка навантаження (знаходиться всередині траверси 8), в нижній частині якої закріплений верхній захват 7.

Врівноважений момент створюється за допомогою сектора, який через гнучку стрічку пов'язаний з маятником пристрою виміру сили.

Момент, який передається верхньому захвату через зразок, спричинює відхилення маятника до тих пір, поки створений маятником момент не врівноважить його. При відхиленні маятника приходить в рух зубчаста рейка, яка обертає шестерню і з'єднана з нею робоча стрілка кругової шкали 9. Зубчаста рейка пов'язана також з пером діаграмного пристрою 10. Для ввімкнення електроживлення і запуску електродвигуна служать пакетний 11 і кнопковий 12 вимикачі.

[2, С. 79–81; 4, С. 3–9].

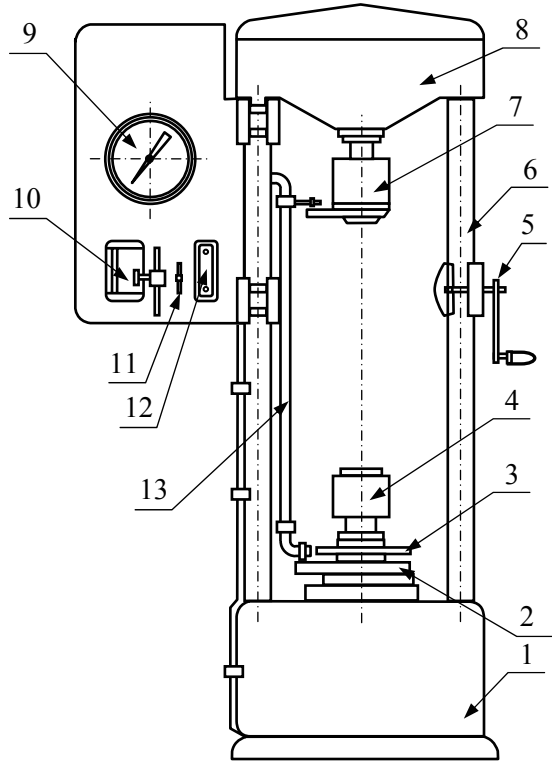


Рисунок А.2.1 – Випробувальна машина КМ-50

Додаток Б

ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ І ДАТЧИКИ

Б.1 Індикатор для вимірювання лінійних переміщень

Індикатори – дуже поширені прилади в практиці лінійних вимірів. Принципова схема одного із них показана на рис. Б.1.1. Шток 1 притискується пружиною до поверхні 2, переміщення якої в напрямку штока необхідно заміряти. Корпус 3, в якому містяться система шестерень і шкала підтримується нерухомим спеціальним штативом.

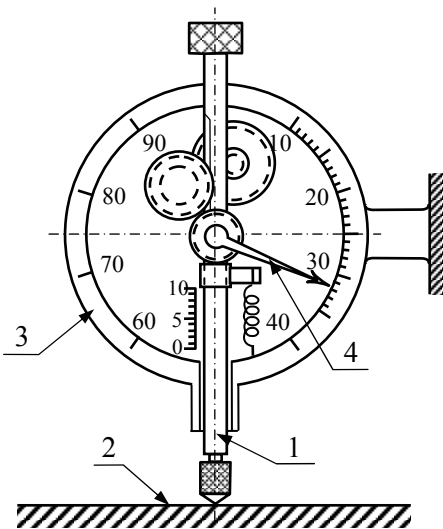


Рисунок Б.1.1 – Схема індикатора для лінійних вимірів

Переміщення поверхні 2 спричиняє переміщення штока 1, який обертає стрілку 4 за допомогою зубчастих передач. Одна поділка шкали відповідає 0,01 мм переміщення штока, а повний оберт стрілки відповідає 1 мм переміщення штока.

Переміщення штока безпосередньо відраховують в міліметрах за лінійною шкалою від 0 до 10 мм. Існують індикатори такого ж типу, але з більш точною шкалою, ціна поділки якої відповідає 0,001 мм.

Дуже часто індикатор є складовою частиною більш складного приладу, наприклад, динамометра чи кутоміра.

[1, С. 162–163].

Б.2 Важільний тензометр Гуггенбергера

Тензометр Гуггенбергера – найпоширеніший прилад серед важільних тензометрів, схема якого показана на рис Б.2.1. Планку (корпус) 1 притягують струбциною до поверхні зразка, деформацію якого необхідно виміряти (на рисунку ця поверхня заштрихована). Опорами тен-

зометра являються нерухомий ніж (ліворуч) і призма ромбовидної форми (праворуч), яка жорстко з'єднана з важелем 4. При деформуванні зразка відстань s між точками опори (база тензометра) змінюється, завдяки чому призма відхиляється, а разом з нею і важіль 4. Поворот призми і важеля 4 при цьому відбувається навколо ребра B виточки, якою планка 1 спирається на призму. Верхній кінець C важеля 4 шарнірно з'єднаний за допомогою "серги" CE зі стрілкою 2, яка має шарнірну опору в точці D . Переміщення точки C при повороті важеля 4 спричинює таке ж переміщення точки E стрілки 2. При цьому стрілка повертається навколо опори D і нижній її кінець F переміщується уздовж міліметрової шкали, яка знаходиться на корпусі 1.

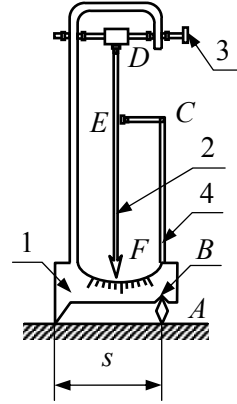


Рисунок Б.2.1 – Схема важільного тензометра

Переміщення Δl стрілки, звичайно, пропорційно зміні Δs бази тензометра s . Відношення діагоналі AB призми до довжини важеля 4 як правило дорівнює $1/50$; відношення довжини ділянок стрілки DE і DF – біля $1/20$, тобто коефіцієнт збільшення K тензометра дорівнює 1000. Опорна точка D стрілки знаходиться на ковзуні і може переміщуватись за допомогою гвинта 3, що дозволяє встановлювати стрілку до випробування на бажану поділку, а також продовжувати дослід без перестановки тензометра при вичерпанні шкали.

[1, С. 33–35].

Б.3 Електротензометр

В техніці механічних вимірювань широко застосовується тензометрування за допомогою дротяних електродатчиків. Вони особливо зручні для вивчення швидко змінних деформацій (при ударі, коливаннях, раптових втрат стійкості та інш.), коли тензометри, які мають інерційність, не придатні.

Принцип дії дротяного електротензометра базується на зміні електричного опору дротику завдяки його розтягнанню або стисканню. Основною частиною приладу є тоненький, як правило манганіновий або констан-

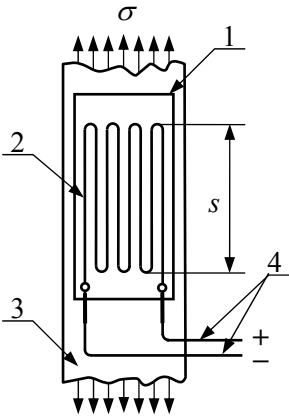


Рисунок Б.3.1 – Схема електродатчика

тановий ¹⁾, дротик діаметром 0,015...0,030 мм, який вкладений декількома паралельними петлями 2 (рис. Б.3.1) між двома шарами ізоляційного паперу 1 і називається датчиком електротензометра. Для підключення його в мережу застосовують виводи 4. Довжина s петлі називається базою датчика, яка найчастіше має довжину 20, 10,5 та 2,5 мм і визначається задачами досліду. Датчик наклеюють на поверхню досліджуваного зразка 3 так, щоб його база співпадала з напрямком виміру деформації.

Під час деформації зразка разом з ним деформується і наклеєний датчик, внаслідок чого змінюється його омичний опір, який при деформації розтягання збільшується, а при деформації стискання – зменшується.

Деформація датчика і зміна його опору пов'язані лінійною залежністю

$$\varepsilon = \frac{1}{\gamma} \frac{\Delta R}{R}, \quad (\text{Б.3.1})$$

де ε – відносне подовження бази датчика;

R – омичний опір датчика (як правило 100 або 200 Ом);

ΔR – приріст опору датчика, відповідний деформації ε ;

γ – коефіцієнт тензочутливості матеріалу датчика (для константанового дротуку $\gamma=1,7\dots2,1$).

Величина γ може бути визначена з досліду. Для цього електродатчик наклеюють на зразок, на який закріплюють еталонний тензометр. При навантаженні зразка вимірюють приріст опору ΔR датчика і подовження ε зразка за еталонним тензометром. В результаті вимірів обчислюють тензочутливість матеріалу датчика

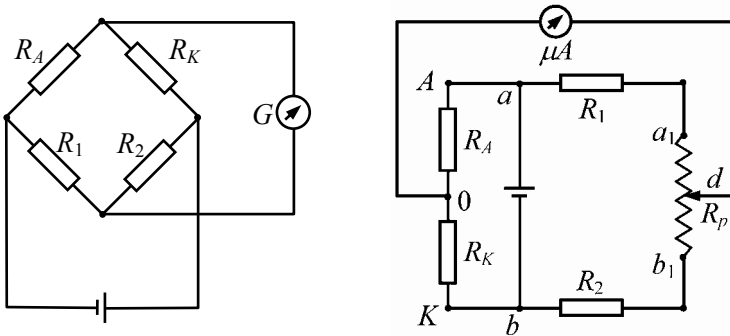
¹⁾ Константан – сплав міді (60%) і нікелю (40%); манганін – сплав міді (84%), нікелю (4%) і марганцю (12%).

$$\gamma = \frac{1}{\varepsilon} \frac{\Delta R}{R}. \quad (\text{Б.3.2})$$

Електродатчики застосовуються при температурі від -40°C до 70°C .

При деформуванні зразка (деталі) омичний опір датчика змінюється на дуже малу величину. Тому, щоб заміряти її з достатньою точністю, застосовують спеціальні високочутливі схеми.

На рис. Б.3.2, а показана схема підключення *активного* (робочого) датчика R_A до містка Уїтстона. Датчик є одним плечем містка, а друге плече складає такий же датчик R_K , який називається *компенсаційним*, наклеєний на окрему пластинку, виготовлену з такого ж матеріалу, що і випробувальний зразок. Омичний опір компенсаційного датчика повинен бути рівним опорі активного датчика R_A і температурні умови повинні бути також однаковими для двох датчиків.



a – з відрахуванням по гальванометру; b – для відліку за нульовим методом;

Рисунок Б.3.2 – Місткова схема включення електродатчиків

Два інших плеча містка мають також рівні омичні опори ($R_1=R_2$), як правило, однакові з опором активного датчика.

В такому стані місток має бути збалансованим, і при проходженні через нього струму, останній пройде тільки по плечам містка, а гальванометр G , ввімкнений у вимірювальну діагональ містка, не покаже наявності струму.

Практично не завжди можна виготовити плечі містка однакового омичного опору. Тому змонтований місток, як правило, піддають уточненому балансуванню. Це можна робити за допомогою компенсаційного датчика, якщо його наклеїти на пластинку, яка має вигляд консольної балочки. Деформуючи таку балочку в ту чи іншу сторону, ми можемо змінювати опір компенсаційного датчика, чим і забезпечується повне балансування містка. Регулятор такого типу може змінювати опір датчика на 0,5%, тобто біля 0,5...1 Ом.

Навантажуючи зразок і тим самим деформуючи наклеєний на зразок датчик R_A , ми помітимо присутність струму в гальванометрі; розбалансування містка спричинене тим, що опір активного датчика стає не рівним опору компенсаційного датчика. Зміна відліку по гальванометру пропорційна деформації зразка.

На відміну від розглянутої схеми, принцип дії якої полягає у вимірі зміни сили струму в містку, існує інша (рис. Б.3.2, б). Вона дозволяє вимірювати пропорційну струму зміну опору плечей ad і bd , яке може бути досягнуто за рахунок реохорда a_1b_1 для балансування містка.

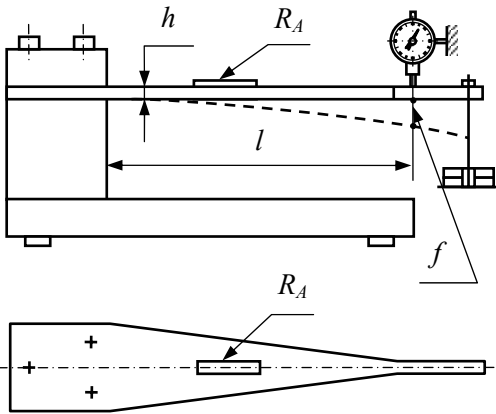


Рисунок Б.3.3 – Схема тарувальної балочки

У важеля або ручки реохорда R_p є дугова шкала. З досліду, наприклад, за допомогою тарувальної балочки (рис. Б.3.3), можна встановити, якому відносному подовженню зразка відповідає одна поділка шкали.

Ширина балочки змінюється за лінійним законом, завдяки чому напруження і деформації на її поверхні сталі. При таруванні шкали реохорда (реєстраційного приладу) на поверхню балочки наклеюють активний датчик

і на окремій пластинці компенсаційний, які створюють зовнішній півмісток і підключаються до клем А, К і 0. Другий (внутрішній) півмісток створений резисторами R_1 , R_2 і R_p приладу. Для тарувальної ба-

лочки рівного опору прогин f , який вимірюється індикатором на відстані l від жорсткого закріплення, визначається так

$$f = \theta \frac{l^2}{2}, \quad (\text{Б.3.3})$$

де θ – кривизна балочки.

З іншого боку, відносна деформація ε на поверхні балочки пов'язана з кривизною наступною формулою

$$\varepsilon = \theta \frac{h}{2}, \quad (\text{Б.3.4})$$

де h – товщина балочки.

З урахуванням (Б.3.3) формула (Б.3.4) переписеться так

$$\varepsilon = f \frac{h}{l^2}. \quad (\text{Б.3.5})$$

Вимірюючи прогин f , легко визначити деформацію (Б.3.5) і напруження $\sigma = \varepsilon E$ на поверхні балочки. Тоді ціна поділки реєстраційного приладу у відносних одиницях буде визначатися за формулою

$$k = \frac{\varepsilon}{\Delta A}, \quad (\text{Б.3.6})$$

або в одиницях напружень (МПа)

$$k = \frac{\sigma}{\Delta A}, \quad (\text{Б.3.7})$$

де ΔA – різниця відліків по шкалі реохорда, відповідна прогину балочки.

[1, С. 154–158; 2, С. 67–69; 4, С. 3–10].