

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з курсу “Опір матеріалів”
для студентів галузі знань “Механічна інженерія”
денної форми навчання

III семестр

2018

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу “Опір матеріалів” для студентів галузі знань “Механічна інженерія” денної форми навчання. III семестр / Укл.: В.Г. Шевченко, С.Л. Рягін, О.Г. Попович, О.С. Омельченко, А.А. Скребцов, І.А. Петрик, А.А. Панкєєва. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. – 37с.

Укладачі: *В.Г. Шевченко*, доцент, к.т.н.
С.Л. Рягін, доцент, к.т.н.
О.Г. Попович, доцент, к.т.н.
О.С. Омельченко, ст. викладач
А.А. Скребцов, доцент, к.т.н.
І.А. Петрик, ст. викладач, к.т.н.
А.А. Панкєєва, ст. викладач

Рецензент: *Г.Д. Фурсіна*, доцент, к.т.н.

Відповідальний
за випуск: *В.Г. Шевченко*, доцент, к.т.н., зав. каф.

Видання перероблене та доповнене.

ЗАТВЕРДЖЕНО

на засіданні кафедри механіки

Протокол № 5 від 20.02.2018 року

Рекомендовано

до видання НМК факультету
будівництва, архітектури та
дизайну

Протокол № 3 від 26.03.2018 року

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ	4
ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ	6
1 Визначення основних механічних характеристик сталі при розтяганні	6
2 Визначення основних механічних характеристик різних матеріалів при стисканні	12
3 Визначення модуля пружності і коефіцієнта поперечної деформації сталі при розтяганні	17
4 Випробування різних матеріалів на зсув	20
5 Визначення модуля пружності другого роду при крученні сталевих зразків	23
6 Визначення положення центра згинання тонкостінної консольної балки швелерного профілю	27
ЛІТЕРАТУРА	31
Додаток А Лабораторне устаткування.....	32
А.1 Випробувальна розривна машина ВР-100	32
А.2 Випробувальна машина на кручення КМ-50	34
Додаток Б Вимірювальні прилади і датчики	36
Б.1 Індикатор для вимірювання лінійних переміщень	36
Б.2 Важільний тензометр Гугенберґера	37

ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Опір матеріалів – наука про інженерні методи розрахунків на міцність, жорсткість і стійкість елементів конструкцій різних споруд та механізмів [1].

Опір матеріалів, як загальнотехнічна дисципліна, ґрунтується на теоретичних і дослідних даних. Тому при вивченні курсу „Опір матеріалів” студенти вивчають теорію (лекційні заняття) та виконують лабораторні роботи, які є обов’язковою частиною навчального процесу. Для кращого засвоєння теорії та опанування методами розрахунку типових елементів конструкцій студенти, в межах самостійні роботи, виконують розрахунково-графічні роботи (РГР).

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 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.

Перед виконанням лабораторної роботи студенти повинні засвоїти відповідний розділ теоретичного курсу та ознайомитись з інформацією щодо її виконання, яку містять ці методичні вказівки: короткими теоретичними відомостями, описом зразків, вимірювальних приладів і лабораторних установок, порядком проведення дослідження.

Лабораторні роботи виконуються студентами в лабораторіях кафедри механіки в присутності викладача. 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]. 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 повідомляється завідувачу кафедри та декану факультету;
- після закінчення роботи студенти приводять своє робоче місце у належний вигляд.

ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

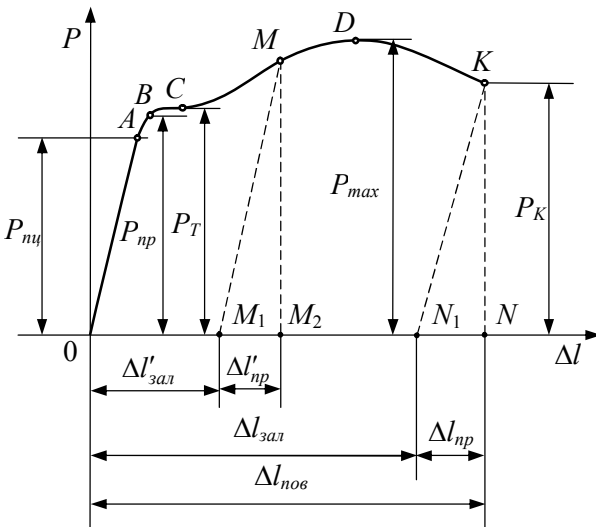
1 ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛІ ПРИ РОЗТЯГАННІ

Мета роботи: вивчити поведінку сталевго 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, елементів конструкцій та споруд.

Основні параметри визначають на підставі діаграми розтягання в координатах “розтягуюча сила – абсолютне видовження” ($P \sim \Delta l$), 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 $P_{пц}$ (точка A) спостерігається прямо пропорційна залежність між подовженням Δl зразка і силою P , яка його викликала (закон Р. Гука). Після розвантаження початкова довжина зразка відновлюється, тобто деформація є пружною, та 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, до якого є чинним закон Гука. Тут F_0 – площа поперечного перерізу робочої частини зразка до випробування.

При подальшому навантаженні починається деяке відхилення від прямої OA , але після розвантаження деформація зникає майже повністю, тобто деформацію можна вважати пружною.

Відношення

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

називають *границею пружності* (умовною). Це таке напруження, до якого залишкові деформації практично відсутні.

При досягненні навантаженням певної величини P_T (точка C) подовження починає зростати швидше, ніж зусилля, а для більшості пластичних матеріалів зразок подовжується (“тече”) без збільшення, а інколи і при зменшенні навантаження. На діаграмі з’являється так звана “площадка текучості” (горизонтальна або майже горизонтальна).

Відношення

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

називають *границею текучості* (фізичною).

Текучість пояснюється взаємними зсувами частинок матеріалу. На поверхні відполірованого зразка можна бачити через лупу косі штрихи – лінії зсуву, які називаються лініями Чернова-Людерса (неозброєним оком видно, що поверхня стає тмальною). 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:

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

Поняття умовної границі текучості є штучним, бо не має фізичного сенсу, і в розрахунках на міцність його бажано не використовувати.

Після стадії текучості матеріал знову починає чинити опір зростаючим зусиллям, наступає 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 наклепу. 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 $P_{mц}$ (точка D).

Відношення

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

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

$$\sigma_d = P_{\kappa} / F_1 \quad (1.6)$$

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

В момент руйнування робоча частина зразка l_0 подовжилась на величину $\Delta l_{нов}$. 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.

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 “напруження розтягу – відносне видовження” ($\sigma \sim \varepsilon$) (рис.1.2). На цій діаграмі зазначені основні механічні характеристики міцності і пластичності, які визначаються за формулами (1.1)...(1.5).

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 $\sigma/\varepsilon = \text{const}$, тобто:

$$\sigma/\varepsilon = E, \quad (1.9)$$

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

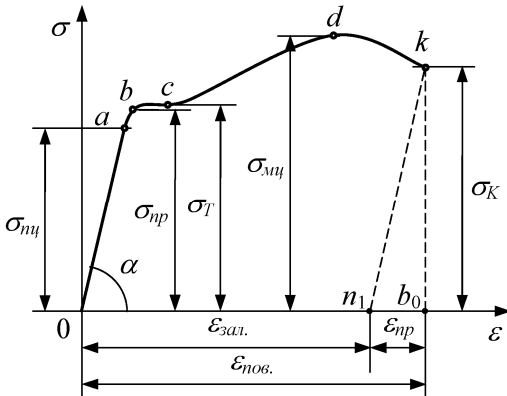


Рисунок 1.2 – Діаграма розтягання маловуглецевої сталі в системі відносних координат ($\sigma \sim \varepsilon$)

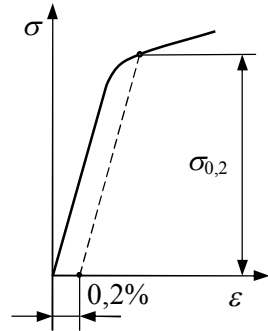


Рисунок 1.3 – Діаграма розтягання легованої сталі з позначенням умовної границі текучості

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

$$\frac{\tilde{\varepsilon}}{\tilde{\sigma}} = \operatorname{tg} \alpha \quad (1.10)$$

де $\tilde{\sigma}$ і $\tilde{\varepsilon}$ - довжини відрізків по осях абсцис і ординат, які зображують напруження розтягу та відносне видовження у розглядуваній точці на ділянці oa .

З порівняння формул (1.9) і (1.10) можна зробити висновок, що з точки зору геометрії модуль пружності E пропорційний тангенсу кута нахилу прямої oa до осі абсцис.

На підставі формули (1.9) можна записати відому залежність, яка називається *законом Р.Гука*:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E. \quad (1.11)$$

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.

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 на такій відстані від головок напружений стан зразка однорідний і не залежить від способу прикладання зовнішніх сил (принцип Сен-Венана).

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...25мм, ширина для плоских – 3...25мм. Циліндричні зразки також відрізняються між собою конструкцією головок.

В даній лабораторній роботі застосовують пропорційний циліндричний зразок III типу (рис.1.4а).

Випробування проводять на розривній машині ВР-100.

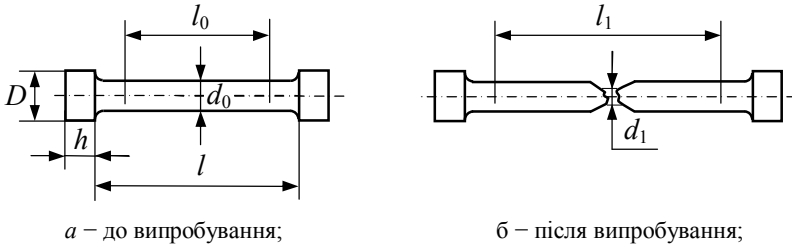


Рисунок 1.4 – Ескіз довгого пропорційного зразка

Порядок проведення дослідження

Ознайомитись з побудовою розривної машини ВР-100 (додаток А) та з основними правилами техніки безпеки.

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

Вимірити діаметр зразка d_0 і рисками на його поверхні позначити границі робочої частини, тобто розмір l_0 (рис.1.4а). Обчислити площу поперечного перерізу F_0 , см². Ці дані занести в таблицю.

Закріпити зразок в захватах машини і почати випробування. В процесі випробувань 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_{np} , P_T , P_{max} , P_K , які відповідають характерним точкам, і за формулами (1.1)...(1.5) обчислити основні механічні характеристики міцності матеріалу зразка.

Вимірити довжину розрахункової частини зразка l_1 після його розриву і діаметр в зоні шийки d_1 (рис.1.4б), 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.

Визначити умовне напруження в момент розриву за формулою:

$$\sigma_{\partial} = P_K / F_0. \quad (1.12)$$

Порівняти дійсне напруження в момент розриву з умовним і з границею міцності та зробити висновок.

[1, С. 88-97; 2, С. 27-35; 3, С. 6-12].

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 певного зусилля P_{nc} (рис.2.1а) 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 помітне значне зростання деформації, тобто матеріал “тече”, але без наявності площадки текучості. Зразок приймає джкоподібну форму (рис.2.1б) внаслідок наявності тертя між торцями зразка і поверхнями опорних деталей машини. 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.

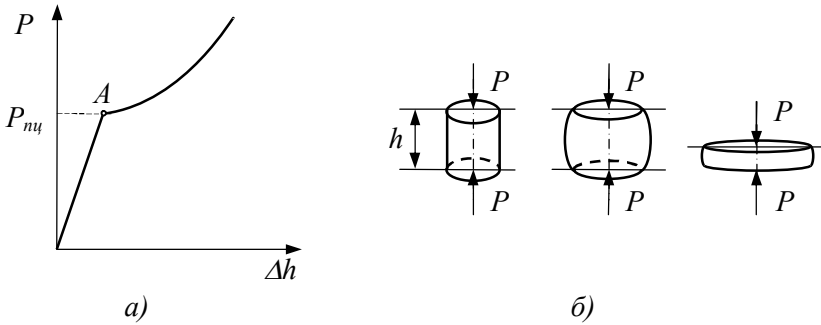


Рисунок 2.1 – Схема сталевго зразка і діаграма його деформування при стисканні

Крихкі матеріали (чавуни). 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.2.2а). Тому при практичних розрахунках вважають, що при деформуванні матеріалу справджується закон Гука. При поступовому навантаженні зразок коротшає, приймаючи джкоподібну 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).

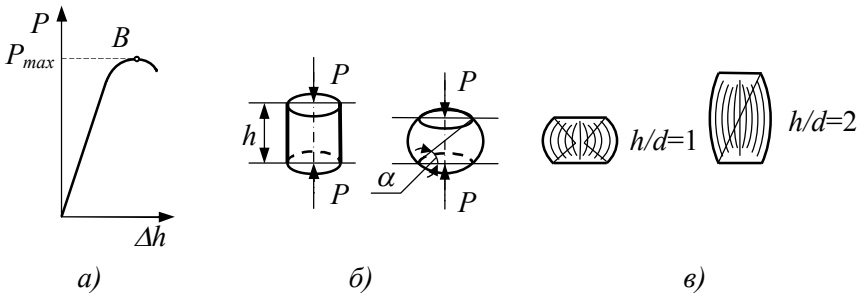


Рисунок 2.2 – Схема чавунного зразка і діаграма його деформування при стисканні

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

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

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.2.2в).

Д е р е в о . Випробування дерев'яного зразка як представника анізотропних матеріалів проводиться вздовж (рис.2.3б) і поперек (рис.2.3в) волокон.

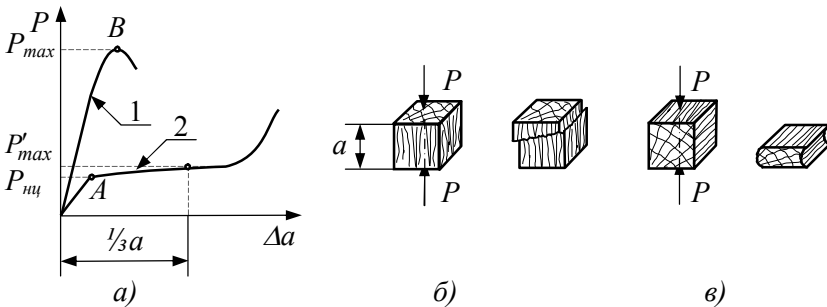


Рисунок 2.3 – Схема дерев'яного зразка і діаграма його деформування при стисканні

Діаграма $P \sim \Delta a$ при стисканні зразка вздовж волокон (рис.2.3а, 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).

При стисканні зразка поперек волокон діаграма $P \sim \Delta a$ має інший вигляд (рис.2.3а, крива 2) і нагадує діаграму стискання сталевго зразка

(пластичного матеріалу). До деякої точки A 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.2.3а) 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.2.1б; 2.2б) з відношенням розмірів висоти до діаметру $1 \leq h/d \leq 2$. Дерев'яні зразки мають форму куба (рис.2.3б, 2.3в) зі стороною $a=20$ мм. Для обміру зразків застосовують штангенциркуль зі шкалою 0...150мм і ціною поділки 0,1мм.

Випробування виконують на розривній машині ВР-100 (додаток А) із застосуванням реверсу.

Порядок проведення дослідження

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

Обмірити розміри всіх 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 обробити: визначити необхідні зусилля для кожного зразка і за формулами (2.1)...(2.4) обчислити основні механічні характеристики міцності досліджуваних матеріалів.

Порівняти між собою характер деформації всіх зразків та їх діаграми стискання, зробити висновки.

[2, С. 45-49; 3, С. 13-17].

3 ВИЗНАЧЕННЯ МОДУЛЯ ПРУЖНОСТІ І КОЕФІЦІЄНТА ПОПЕРЕЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ СТАЛІ ПРИ РОЗТЯГАННІ

Мета роботи: ознайомитись з методикою визначення модуля пружності першого роду E (модуля Юнга) і коефіцієнта поперечної деформації μ (коефіцієнта Пуасона) та перевірити закон Р.Гука (сталість відношення абсолютної деформації до поздовжньої сили в межах границі 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 границі пропорційності в координатах $P \sim \Delta l$.

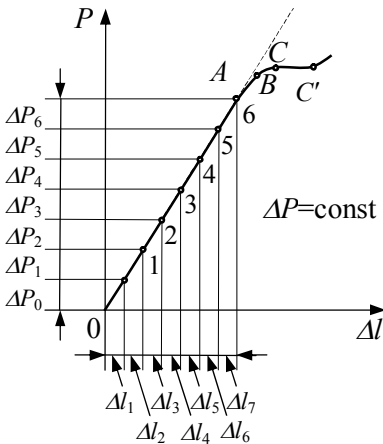


Рисунок 3.1 – Діаграма розтягання маловуглецевої сталі

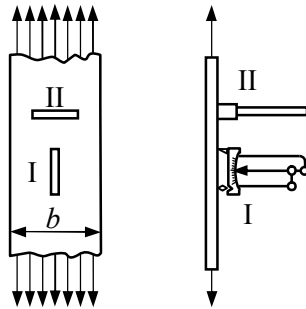


Рисунок 3.2 – Схема розташування тензометрів на зразку

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 замірити подовження зразка Δl на базі l_0 і зафіксувати відповідне йому зусилля ΔP .

Модуль Юнга E являється основною характеристикою пружності матеріалу (здатності чинити опір зміні форми і розмірів зразка). Він дуже часто використовується в різних розрахунках. Модуль Юнга вимірюється в тих же одиницях, як і напруження, тобто в МПа.

Відомо, що при одноосному розтяганні зразок деформується як в поздовжньому, так і в поперечному напрямках. При цьому, збільшення довжини зразка супроводжується зменшенням його поперечних розмірів, і навпаки. Досліди показують, що для переважної більшості матеріалів відносна поперечна деформація за модулем в 3–4 рази менша, ніж поздовжня.

Абсолютне значення відношення відносної поперечної 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 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 Гугенберґера (додаток Б): тензометр І – для виміру поздовжніх деформацій і тензометр ІІ – для виміру поперечних деформацій.

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

Роботу виконують на розривній машині ВР-100 (додаток А).

Порядок проведення дослідження

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

Вимірити розміри зразка і визначити площу поперечного перерізу F_0 . Визначити максимальне зусилля P_{max} , при якому зразок буде деформуватись в межах границі пропорційності:

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

де $\sigma_{mц}$ – 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 $A_{0(I)}$, $A_{0(II)}$. Потім, навантажуючи зразок рівними ступенями ΔP (не перебільшуючи зусилля P_{max}), зафіксувати і записати в протокол спостережень відліки тензометрів для кожної ступені.

За даними дослідження визначити прирости показань тензометрів в поздовжньому і поперечному напрямку та їх середні величини:

$$\Delta A_{j(I)} = A_{j(I)} - A_{j-1(I)}; \quad \Delta A_{j(II)} = A_{j(II)} - A_{j-1(II)}; \quad j=1, 2, \dots, n.$$

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

Визначити середні абсолютні деформації зразка: подовження в осьовому та зменшення ширини в поперечному напрямку, на базі тензометра $l_0=20\text{мм}$ (однакова в обох випадках):

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

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

Згідно формули (3.2) визначити модуль Юнга E . Коефіцієнт Пуассона можна обчислити за формулою (3.3), або як відношення абсолютних деформацій: $\mu = |\Delta l' / \Delta l|$. Порівняти отримані результати з довідниковими даними. Проаналізувати характер залежності між абсолютною деформацією та поздовжньою силою. Зробити висновки.

[2, С. 57-60; 3, С. 18-21].

4 ВИПРОБУВАННЯ РІЗНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ЗСУВ

Мета роботи: вивчити характер руйнування і визначити границю міцності при зсуві сталевго 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 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, що пластично деформується, незначний. Умовно вважають, що в зоні зрізу діють тільки дотичні напруження, які рівномірно розподілені за площею перерізу F :

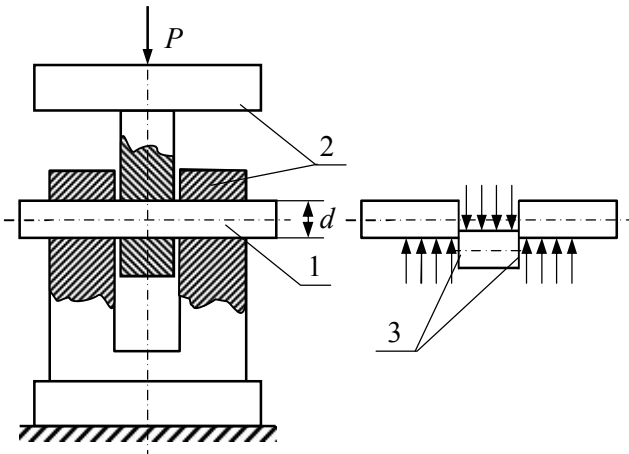
$$\tau = P/F, \quad (4.1)$$

і при досягненні ними границі міцності відбувається руйнування.

Границя міцності при зсуві завжди менша, ніж при розтяганні. Для сталі:

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

Міцність при зсуві визначають зазвичай за схемою подвійного зрізу (рис.4.1). Міцність при зсуві деревини



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

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

як анізотропного матеріалу залежить від напрямку дії зусилля. Зазвичай визначають границю міцності при сколюванні поздовж волокон (рис.4.2), 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.

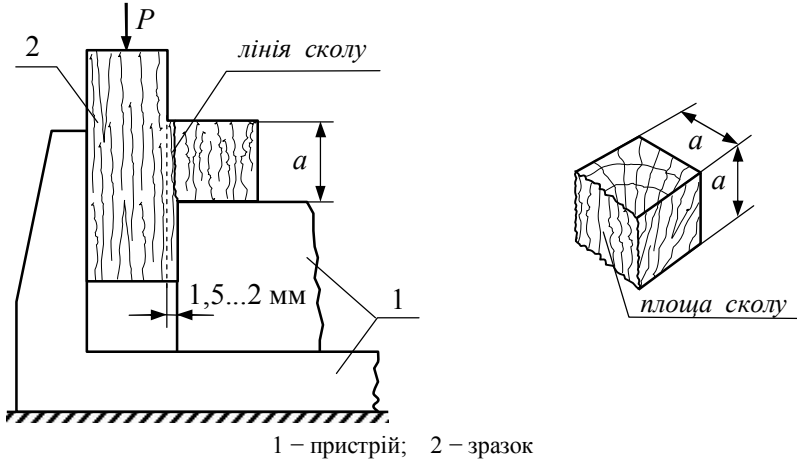


Рисунок 4.2 – Схема пристрою для випробування дерев'яного зразка на сколювання вздовж волокон

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 0,1мм.

Випробування виконують на розривній машині ВР-100 (додаток А) із застосуванням реверсу.

Порядок проведення дослідження

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

Обмірити розміри зразків і визначити площі поперечних перерізів F_0 .

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

При навантаженні необхідно уважно стежити за поведженням 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. За формулою (4.3) обчислити характеристики міцності досліджуваних матеріалів. При цьому врахувати, що для сталевго зразка сумарна площа, по якій відбувається його руйнування, вдвічі більша, ніж площа поперечного перерізу цього зразка.

Порівняти границю міцності при зсуві сталевго зразка з границею міцності при його розтяганні. Порівняти границю міцності при зсуві сталевго зразка з границю міцності дерева при сколюванні вздовж волокон. Зробити висновки.

[2, С. 89-92; 3, С. 22-24].

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 зразка з круглим або кільцевим поперечним перерізом залежність між крутним моментом $M_{кр}$ і кутом закручування φ залишається пропорційною до певної межі, яка називається границею пропорційності $\tau_{нц}$. В цьому інтервалі зразок деформується пружно і справджується закон Гука:

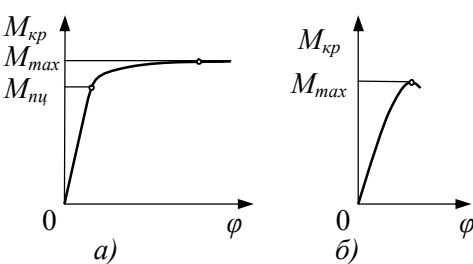


Рисунок 5.1 – Діаграми кручення для сталевих (а) і чавунного (б) зразків

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

де l – база, на якій вимірюється кут закручування;

I_p – полярний момент інерції поперечного перерізу зразка.

При подальшому навантажуванні сталевий зразок (пластичний матеріал) пропорційна залежність

порушується, спостерігається швидке зростання кута закручування при порівняно малому збільшенні крутного моменту (рис.5.1а). Зразок руйнується без утворення шийки від максимальних дотичних напружень, які виникають в площинах, перпендикулярних до вісі (рис.5.2а), тобто руйнування відбувається внаслідок зсуву.

Якщо випробується чавунний зразок (крихкий матеріал), то залежність між крутним моментом і кутом закручування не є пропорційною (рис.5.1б). Зразок руйнується шляхом відриву внаслідок дії нормальних (головних) напружень (рис.5.2б). Довільний елемент матеріалу поверхневого шару закручуваного зразка знаходиться в стані чистого зсуву. При цьому головні напруження σ_1 та σ_3 виникають на площадках, нахилених під кутом 45° до вісі зразка; ці

напруження рівні між собою за модулем і протилежні за знаком, тобто: $\sigma_1 = \tau$; $\sigma_3 = -\tau$.

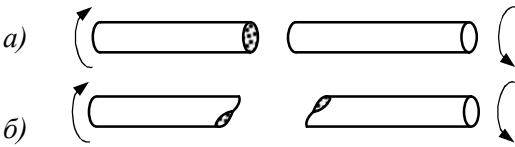


Рисунок 5.2 – Характер руйнування сталевих (а) і чавунних (б) циліндричних зразків при крученні

Зразки, вимірювальні прилади і лабораторні установки

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

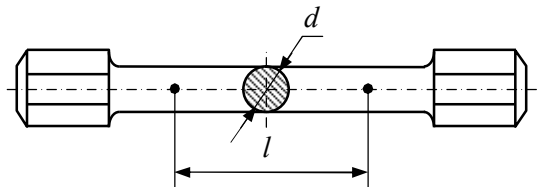


Рисунок 5.3 – Ескіз зразка для випробування на кручення

Кут повороту одного перерізу зразка по відношенню до другого вимірюють за допомогою механічного кутоміра: пристрою, облаштованого індикатором годинникового типу (додаток Б), 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 установчих 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 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,

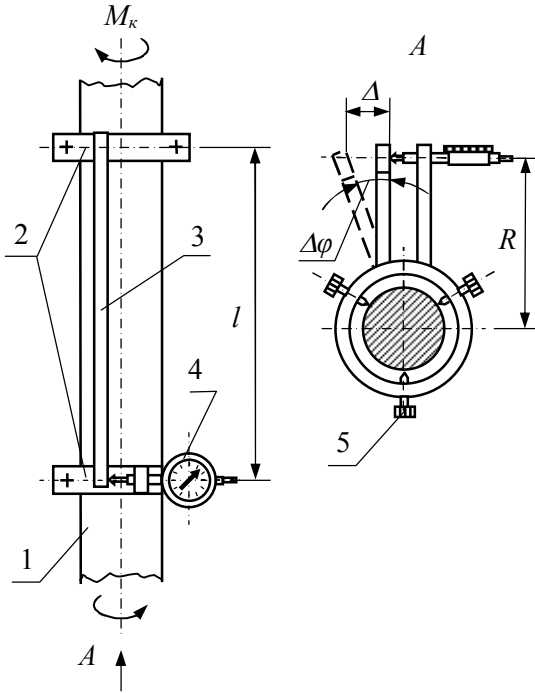


Рисунок 5.4 – Схема механічного кутоміра

переміщає рухомий шток індикатора 4, корпус якого закріплений на другому кільці. Таким чином, переміщення стрілки індикатора пропорційне куту закручування зразка.

Для того щоб обчислити, якому куту повороту одного кільця відносно другого (в радіанах) відповідає переміщення стрілки індикатора на одну поділку, необхідно величину відповідного переміщення штока індикатора (0,01мм) поділити на відстань R :

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

Роботу виконують на розривній машині

КМ-50 (додаток А).

Порядок проведення дослідження

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

Вимірити діаметр d зразка і визначити полярний момент інерції I_p та полярний момент опору W_p перерізу. Визначити максимальний крутний момент $M_{k\max}$, при якому зразок буде деформуватись в межах границі пропорційності:

$$M_{k\max} \leq \tau_{ny} \cdot W_p,$$

де τ_{ny} – границя пропорційності матеріалу зразка.

Необхідно навантажувати зразок рівними ступенями:

$$\Delta M_k = M_{k \max} / n,$$

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. Зафіксувати перший відлік по індикатору. Потім, навантажуючи зразок рівними ступенями ΔM_k (не перевищуючи момент $M_{k \max}$), зафіксувати і записати в протокол спостережень відліки по шкалі індикатора для кожної ступені.

За даними дослідження визначити прирости показань індикатора та їх середню величину:

$$\Delta A_j = A_j - A_{j-1}; \quad j=1, 2, \dots, n;$$

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

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

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

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

Проаналізувати характер залежності між крутним моментом та абсолютним кутом закручування зразка. Отримані результати порівняти з довідниковими даними. Зробити висновки.

[2, С. 86-89; 3, С. 25-29].

6 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 (у 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 та відкриті.

Головна особливість тонкостінних профілів полягає в тому, що при навантаженнях, які створюють крутіння, їх поперечні перерізи в процесі деформування не залишаються плоскими, а викривляються. Відбувається так звана депланація перерізів, яка пов'язана з переміщеннями точок з площини поперечного перерізу уздовж осі стержня. В стрижнях 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, її вплив порівняно невеликий.

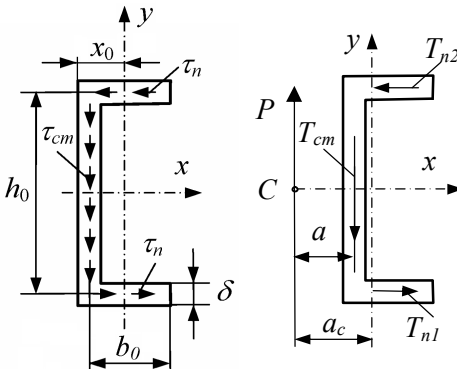


Рисунок 6.1 – Схема розподілення дотичних напружень в перерізі балки відкритого профілю

Відомо, що при згинанні тонкостінного стрижня відкритого профілю в його поперечному перерізі виникають дотичні напруження τ_n і τ_{cm} , яким в сукупності еквівалентні дотичні зусилля T_{cm} і T_{n1} , T_{n2} що діють відповідно в стінці та полицях стрижня (рис.6.1).

При цьому дотичні зусилля T_{n1} і T_{n2} утворюють пару сил, яка закручує стрижень навколо його вісі.

Для того, щоб згинання було плоским, а не супроводжувалось закручуванням, необхідно, щоб рівнодійна P 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. Момент від системи дотичних зусиль в стінці та полках T_{cm} і T_{n1} , T_{n2} відносно центра жорсткості C перерізу дорівнює нулю.

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

$$a = \frac{3 \cdot b_0^2}{6 \cdot b_0 + h_0}, \quad (6.1)$$

де b_0 – розрахункова ширина полочки;

h_0 – розрахункова висота стінки.

Якщо положення центра згинання відраховувати від центру ваги поперечного перерізу швелера, який визначається координатою x_0 , то відповідний розмір обраховується за наступною формулою:

$$a_c = a + x_0 - \delta / 2, \quad (6.2)$$

де δ – товщина стінки профілю;

x_0 – координата центра ваги швелера.

Зразки, вимірювальні прилади і лабораторні установки

Для дослідження застосовують зразок у вигляді гнутого швелера довжиною l з розмірами поперечного перерізу 60x30x1,5мм, виготовленого з листової сталі Ст.3. Переміщення в процесі деформування зразка вимірюють за допомогою індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм.

Лабораторна установка складається з масивного стола 1 (рис.6.2), 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.

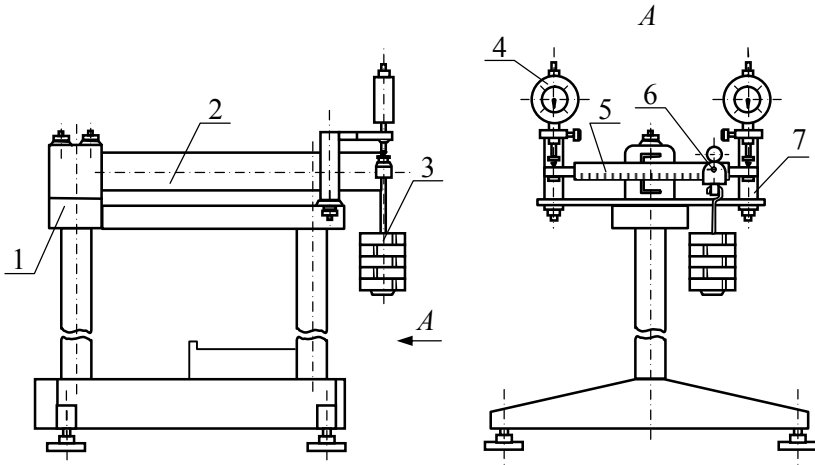


Рисунок 6.2 – Схема лабораторної установки

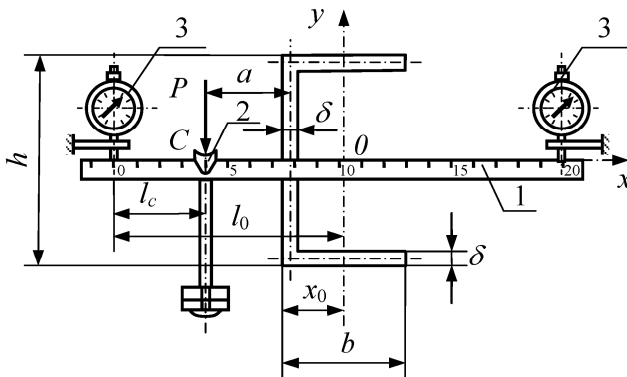


Рисунок 6.3 – Схема шкали рейки з індикаторами

Наявність двох індикаторів і можливість переміщення гирьової підвіски дозволяє знайти точку рейки, діючи в якій, зусилля не викликає закручування зразка. При цьому показання індикаторів повинні бути однакові. Поділка шкали, що відповідає даній точці, визначає положення центра згинання.

Порядок проведення дослідження

Ознайомитись зі схемою лабораторної установки та з основними правилами техніки безпеки.

Обмірити розміри перерізу зразка, в звіт з лабораторної роботи записати значення h , b і δ (рис.6.3).

Закріпити в кронштейнах індикатори. Виставити повзун 2 (рис.6.3) 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.6.3).

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.6.3 запишеться у вигляді:

$$a_c^e = l_0 - l_c . \quad (6.3)$$

Підрахувати координату центра згинання гнutoго швелера за теоретичними формулами (6.1) і (6.2) та порівняти одержані результати з експериментальними даними. Зробити висновок.

[2, С. 190-198; 3, С. 40-43].

ЛІТЕРАТУРА

1. Опір матеріалів. Підручник /Г.С.Писаренко, О.А.Квітка, Е.С.Уманський; За ред. Г.С.Писаренка. – К.: Вища школа, 2004. – 655 с.
2. Сопротивление материалов. Лабораторные работы / И.А.Цурпал, Н.П.Барабан, В.М.Швайко. – К.: Вищ. шк., 1988. – 247 с.
3. 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.
4. Савін Г.М., Тульчій В.І. Довідник з концентрації напружень. – К. : Вища шк., 1976. – 410 с.
5. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов / В.И. Феодосьев. М.: Наука, 1974. – 500 с.
6. Методичні вказівки для самостійної роботи і перевірки рівня засвоєння курсу „Опір матеріалів” з використанням програмного комплексу для студентів всіх спеціальностей денної форми навчання. /А. О. Будник, В. Г. Шевченко, С. Л. Рягін. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2004. – 15 с.

Додаток А

Лабораторне устаткування

А.1 Випробувальна розривна машина ВР-100

При вивченні фізико-механічних властивостей матеріалів в лабораторіях кафедри механіки ЗНТУ використовують випробувальну розривну машину ВР-100 (рис.А.1). Машина ВР-100 призначена для статичних випробувань зразків, виготовлених із різних матеріалів, на розтягання, а при наявності реверсу та відповідних пристроїв – і на стискання, зріз та згинання.

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.

Машина ВР-100 складається безпосередньо із самої випробувальної машини А (рис.А.1) та пульта керування Б, який з'єднаний з машиною гідравлічними трубопроводами і електропроводами.

Машина ВР-100 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.

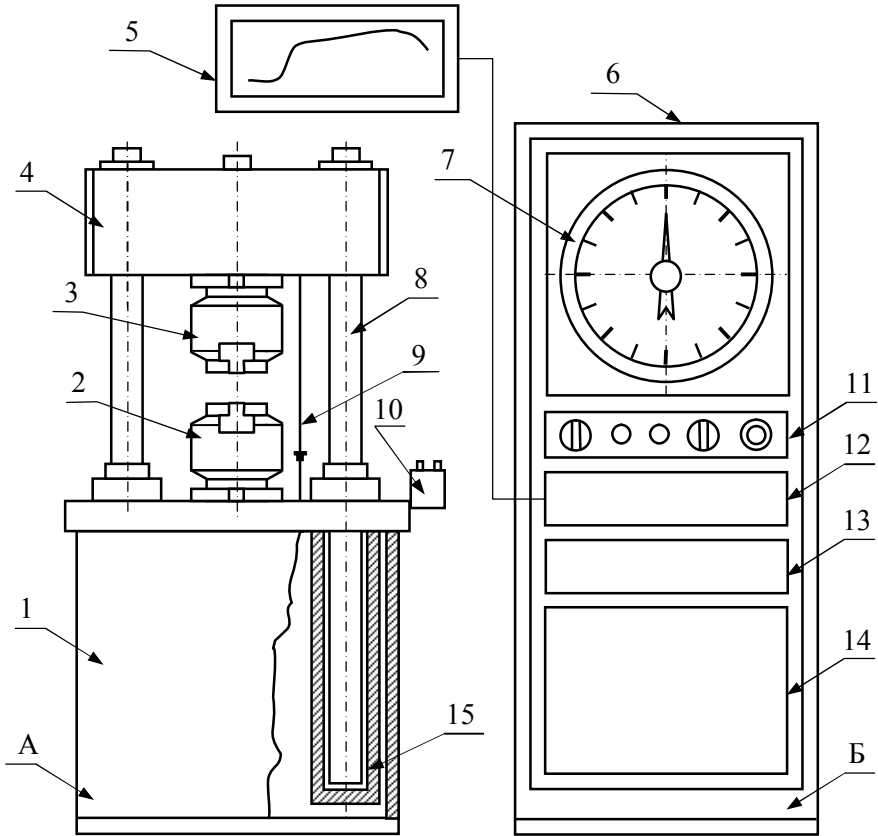


Рисунок А.1 – Випробувальна машина ВР-100

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.

A.2 Випробувальна машина на кручення КМ-50

Машина КМ-50 відноситься до типу випробувальних машин з механічним навантаженням зразка. Вона призначена для визначення основних фізико-механічних характеристик різних матеріалів при крученні.

Технічні характеристики машини КМ-50:

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

Машина КМ-50 (рис.А.2) має наступні основні вузли і механізми: 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 клино-пасову 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 захвата 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'єднану з нею робочу стрілку 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.

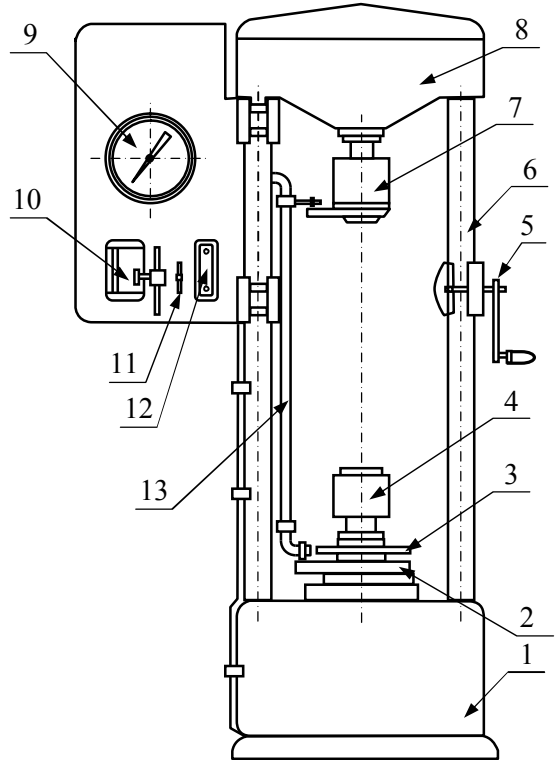


Рисунок А.2 – Випробувальна машина КМ-50

[2, С. 79-81; 3, С. 45-48].

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. Шток 1 притискується пружиною до поверхні 2, переміщення якої в напрямку штока необхідно замірити. Корпус 3, в якому містяться система шестерень і шкала, підтримується нерухомим спеціальним штативом.

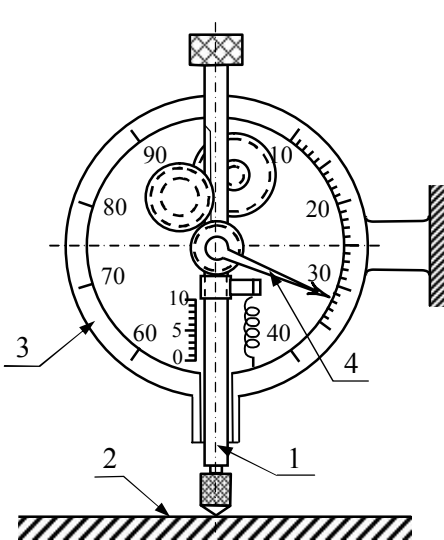


Рисунок Б.1 – Схема індикатора для лінійних вимірів

Переміщення поверхні 2 спричиняє переміщення штока 1, який обертає стрілку 4 за допомогою зубчастих передач. Одна поділка шкали відповідає 0,01мм переміщення штока, а повний оберт стрілки відповідає 1мм переміщення. Переміщення штока в міліметрах (зазвичай, від 0 до 10мм) безпосередньо відраховують за окремою шкалою.

Існують індикатори такого ж типу, але з більш точною шкалою, ціна поділки якої відповідає 0,001мм.

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

Б.2 Важільний тензометр Гугенбергера

Тензометр Гугенбергера – найпоширеніший прилад серед важільних тензометрів, схема якого показана на рис.Б.2. Планку (корпус) 1 притягують струбциною до поверхні зразка, деформацію якого необхідно вимірити (на рисунку ця поверхня заштрихована). Опорами тензометра являються нерухомий ніж (ліворуч) і призма ромбовидної форми (праворуч), яка 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.

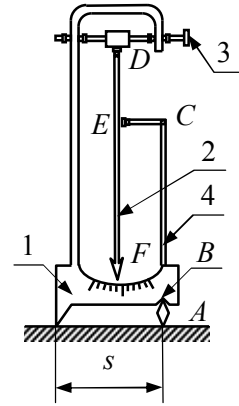


Рисунок Б.2 – Схема важільного тензометра

Таким чином, переміщення Δl стрілки 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 перевстановлювання тензометра при вичерпанні шкали.

[2, С. 67–69; 3, С. 49–50].