

КРАСНОЛИМАНСЬКИЙ ЗАОЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра загальнотехнічних дисциплін

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисциплін

***„ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА”,
„ОПІР МАТЕРІАЛІВ ТА ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА ”***

Харків – 2013

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри «Загальнотехнічних дисциплін» 29 жовтня 2011 р., протокол № 2.

Призначені для студентів спеціальностей „Електричний транспорт”, „Електричні системи та комплекси транспортних засобів”, „Теплоенергетика” заочної форми навчання.

Укладачі:

доц. А.П. Фроленко,
старш. викл. В.В. Гладиков

Рецензент

проф. В.І. Мороз

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисциплін

*„ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА”,
„ОПІР МАТЕРІАЛІВ ТА ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА ”*

Відповідальний за випуск Гладиков В.В.

Редактор Решетилова В.В.

Підписано до друку 14.10.11 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 1,25. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧОГО ТРАНСПОРТУ

КРАСНОЛИМАНСЬКИЙ ЗАОЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра „Загальнотехнічних дисциплін”

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисциплін
„ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА”,
„ОПІР МАТЕРІАЛІВ ТА ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА ”
для студентів спеціальностей „ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ”,
„ЕЛЕКТРИЧНІ СИСТЕМИ ТА КОМПЛЕКСИ ТРАНСПОРТНИХ
ЗАСОБІВ”,
„ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА”
заочної форми навчання

Харків 2013

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри «Загальнотехнічних дисциплін » 29 жовтня 2011 р., протокол № 2.

Призначені для студентів спеціальностей „Електричний транспорт”, „Електричні системи та комплекси транспортних засобів”, „Теплоенергетика” заочної форми навчання.

Укладачі:

доц. А.П. Фроленко,
старш. викл. В.В. Гладиков

Рецензент

проф. В.І. Мороз

З М І С Т

Вступ	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1. Випробування сталевго нормального зразка на розтягання	5
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2. Випробування сталевго стрижня прямокутного поперечного перерізу на поперечний вигин	17
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3. Випробування сталевго стрижня круглого поперечного перерізу на крутіння	27
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4. Обмір зубчастих коліс	37
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5. Побудова евольвентних профілів зубців	42
Список літератури	47

ВСТУП

Навчальні дисципліни „Прикладна механіка”, „Опір матеріалів та прикладна механіка” — одні з основних складових загальноінженерної підготовки майбутніх фахівців залізничного транспорту. Оволодіння сучасними методами проектування механізмів і машин, виконання інженерних розрахунків на міцність, конструювання деталей машин поширює для молодого спеціаліста можливості з вибору правильних підходів і засобів для розв’язання інженерних задач в умовах безперервного оновлення техніки залізниць.

Важливе місце у підготовці студентів займає лабораторний практикум.

Дані методичні вказівки включають у себе опис лабораторних робіт з дисциплін „Прикладна механіка”, „Опір матеріалів та прикладна механіка”.

Основна мета цих робіт – одержання практичних навичок, використання набутих теоретичних знань при дослідженні сучасних технічних засобів.

Перед виконанням кожної роботи студент повинен самостійно ознайомитися з описом лабораторної роботи та рекомендованою літературою. Підготувати звіт про лабораторну роботу, в якому мають бути відображені: мета роботи, результати виконання розрахунків, висновки. Перед початком лабораторної роботи результати домашньої підготовки перевіряються викладачем. Обов’язковою умовою допуску студента до лабораторного практикуму є вивчення правил техніки безпеки та охорони праці.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1

Випробування сталевого нормального зразка на розтягання

1.1 Мета роботи полягає у визначенні для випробуваної сталі або інших матеріалів таких характеристик: границі текучості σ_T , границі міцності σ_B , відносного подовження при розриві δ , відносного звуження шийки γ , питомої роботи деформації α і коефіцієнта повноти діаграми розтягу η . На основі одержаних результатів повинна бути встановлена марка сталі.

1.2 Зразки для випробування. Зразок повинний бути такої форми, щоб можна було здійснити в межах його робочої частини так званий лінійний напружений стан. Таку вимогу задовольняють нормальні (стандартні) зразки двох видів – круглі і плоскі, розміри і форми яких показані на рисунку 1.1.

Як основні циліндричні зразки застосовуються зразки з діаметром $d_0 = 10$ мм і початковою розрахунковою довжиною $l_0 = 10 d_0$ і $l_0 = 5 d_0$. Зразки з розрахунковою довжиною $l_0 = 5 d_0$ іменуються “короткими”, а зразки з $l_0 = 10 d_0$ – “довгими”.

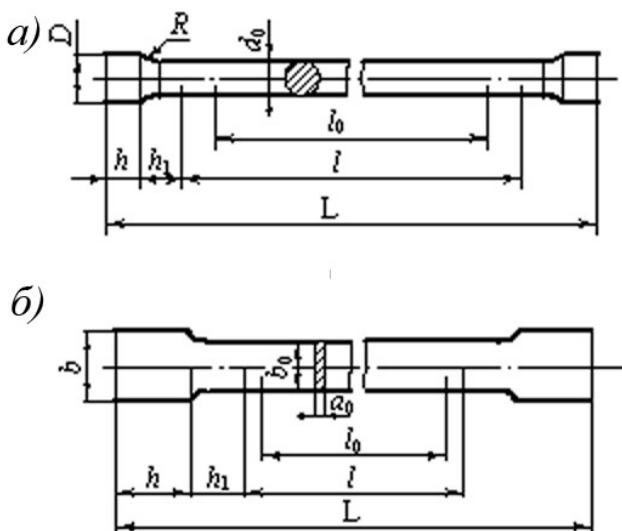


Рисунок 1.1 – Нормальні зразки – круглі і плоскі

Для здійснення розтягання до зразка вздовж його осі прикладають дві сили, рівні за величиною і протилежно направлені. Зразок круглого перерізу діаметром $d_0 = 10$ мм має середню циліндричну частину довжиною $l = 11 d_0 = 110$ мм, яка з кожного боку переходить у галтель і закінчується циліндричною головкою з діаметром $D = 1,25 d_0$. Головки необхідні для закріплення зразка у випробувальній машині.

Перехід циліндричної частини в галтель робиться з метою отримання розриву зразка в його розрахунковій частині, тому що при відсутності галтелі розрив зразка був би неминучий в місці примикання середньої частини зразка до головок завдяки концентрації напружень.

Крім розглянутих зразків з $d_0 = 10$ мм, допускається застосування пропорційних зразків інших розмірів.

В усіх випадках виготовлення пропорційних зразків для одержання порівнюваних результатів між розрахунковою довжиною зразка і діаметром поперечного перерізу необхідно дотримуватися того ж відношення, яке має нормальний зразок, тобто $l_0/d_0 = 10$.

Ця вимога впливає з закону подібності (закон подібності був вперше сформульований у 1874 році видатним інженером і професором В.Л. Кирпичовим), який полягає в тому, що результати випробувань при різних розмірах нормальних зразків будуть адекватні тільки при геометричній подібності як елементів форми зразка, так і розташуванні точок прикладання сил, що діють на них.

Для круглих зразків при $l_0/d_0 = 10$ маємо

$$\frac{h}{\sqrt{A}} = \frac{10 \cdot d}{\sqrt{\frac{\pi}{4} \cdot d^2}} = 11,3 \quad (const). \quad (1.1)$$

Це ж співвідношення повинне бути витримане і для плоских зразків, які виготовляють для випробування листової сталі.

1.3 Випробувальна машина. Випробування проводиться в лабораторії на універсальній гідравлічній машині.

Схема машини з вимірювальними пристроями, що використовується при випробуванні зразків на розтягання, подана на рисунку 1.2.

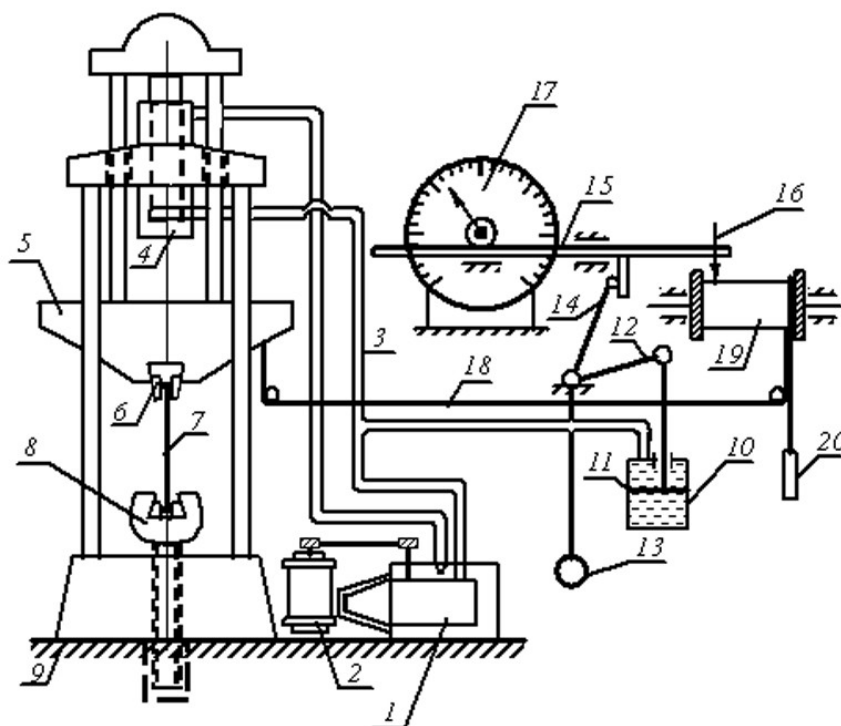


Рисунок 1.2 – Універсальна гідравлічна машина

Насос *1*, що приводиться в дію електромотором *2*, нагнітає масло по трубці *3* в циліндр *4*. Масло, що надходить у циліндр, під тиском змушує поршень переміщатися вгору. Разом з ним переміщається рама з підвіскою *5*, яка несе верхній захват *6* зразка *7*. Нижній захват *8* жорстко прикріплений до станини машини *9*. Закріплений у захватах зразок при цьому буде розтягуватися. Нижній захват може встановлюватися за допомогою мотора і черв'ячної передачі вище чи нижче в залежності від довжини зразка. Частина масла, що нагнітається насосом *1*, надходить по трубопроводу в циліндр *10* силовимірювального пристрою. Чим більшу силу необхідно прикласти до зразка, тим більшим повинний бути тиск масла в системі. Тиском масла поршень *11* переміщується вниз, захоплюючи за собою ломаний важіль *12*, зв'язаний з маятником *13*, що разом з важелем повертається на осі. При цьому відхилення маятника від вертикального положення пропорційне збільшенню тиску масла в системі, а значить збільшенню сили, що діє на зразок. При повороті важеля *12* коліно *14* змушує тягу *15* і закріплене на ній перо *16* переміщуватись горизонтально. За допомогою зубчатої передачі стрілка *17* повертається на відповідний

кут, який відраховується на циферблаті манометра і відповідає силі F , що діє на зразок. При подовженні зразка нитка 18, зв'язана з перекинутою через блоки і барабан 19 підвіскою 6 і підтримувана в натягнутому стані вантажем 20, поверне барабан, а перо буде записувати на папері, прикріпленому до барабана, криву – діаграму розтягання зразка.

1.4 Діаграма розтягання сталі і характеристики, що визначаються у випробуванні. При розтяганні зразка до його розриву діаграма, намальована випробувальною машиною в координатах $(\Delta l; F)$, має вигляд, показаний на рисунку 1.3 (для пластичної сталі).

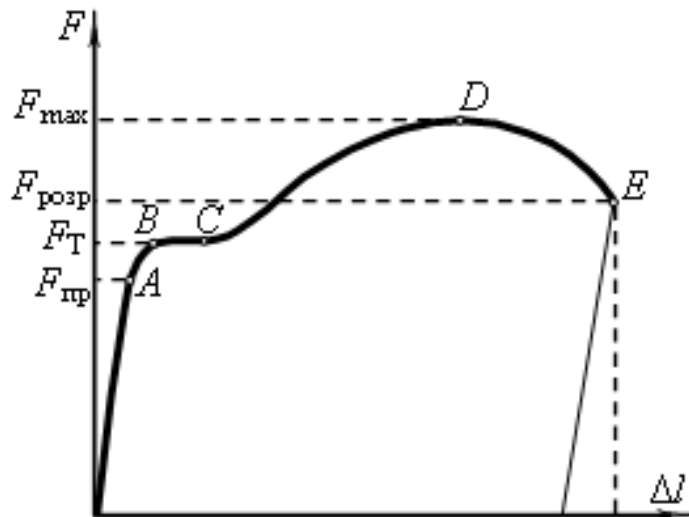


Рисунок 1.3 – Діаграма розтягання сталі

Перша частина діаграми до точки A відповідає прямій пропорційній залежності між навантаженням і деформацією, тобто відповідає закону Гука. Це явище в даній роботі докладно не розглядається. Після точки A пропорційність порушується.

Ділянка діаграми між точками B і C відповідає текучості матеріалу. **Границею текучості** називається те напруження, при якому деформація росте при навантаженні, приблизно постійному.

Для його обчислення використовується формула

$$\sigma_T = \frac{F_T}{A_0}, \quad (1.2)$$

де $A_0 = \pi d_0^2/4$ – площа поперечного перерізу зразка до випробування.

Величина навантаження F_T визначається в процесі випробування за манометром або за стрілкою вимірювальної частини випробувальної машини. При досягненні текучості матеріалу стрілка манометра залишається майже нерухомою, а іноді і трохи падає і вказує на циферблаті значення F_T . При подальшому збільшенні навантаження опір матеріалу зростає до точки діаграми D , коли навантаження F досягає максимуму. Напруження, яке відповідає найбільшому значенню навантаження, називається **границею міцності** і визначається за формулою

$$\sigma_B = \frac{F_{\max}}{A_0}, \quad (1.3)$$

де F_{\max} - визначається за шкалою манометра.

Максимальному значенню навантаження відповідає поява в зразку місцевого звуження (“шийки”), що виникає в найбільш слабкому перерізі.

Подальша деформація зразка розвивається винятково за рахунок матеріалу шийки. Розрив відбувається в найменшому перерізі шийки і, як видно з діаграми (точка E), при навантаженні, що не є найбільшим. Однак цьому навантаженню відповідає найбільше напруження до розриву.

Крім границь текучості і міцності, у даному випробуванні визначаються деформації зразка. Різниця $l_z - l_0$ між довжиною зразка l_z при розриві і початковою його довжиною l_0 називається **абсолютним залишковим подовженням**

$$\Delta l = l_z - l_0. \quad (1.4)$$

Відношення абсолютного подовження Δl до початкової

довжини l_0 називається *відносним залишковим подовженням* δ і визначається у процентах

$$\delta = \frac{l_z - l_0}{l_0} \cdot 100. \quad (1.5)$$

Для визначення l_z необхідно до випробування розмітити розрахункову довжину зразка на рівні частини. Така розмітка виконується спеціальною ділильною машиною, що наносить на поверхні зразка поперечні мітки через кожен сантиметр його довжини.

Нанесена розмітка дозволяє бачити, що по довжині зразок розтягується нерівномірно, подовження участків неоднакові, але симетричні відносно місця розриву.

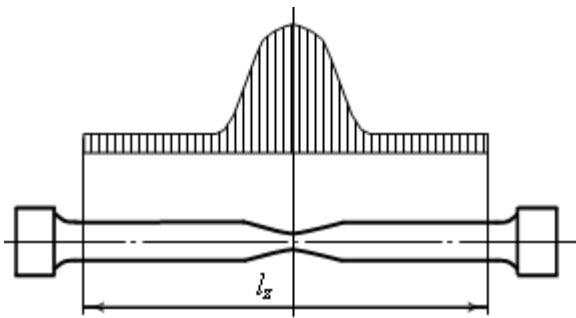


Рисунок 1.4 – Епюра подовження зразка

Це наочно видно на рисунку 1.4, де кожна ордината епюри показує величину подовження тієї ділянки зразка, де проведена ордината.

Після розриву обидві частини зразка складаються впритул, і штангенциркулем вимірюється відстань між крайніми мітками.

Отримана величина і буде дорівнювати довжині l_z зразка при розриві. Так визначається l_z у тому випадку, коли розрив відбувається в середній третині довжини зразка. Якщо ж розрив зразка відбувається в крайній третині, коли довжина його l_z буде складатися з деякого числа симетричних і однаково витягнутих частин і несиметричної частини, то для одержання порівнянних результатів цей випадок необхідно шляхом перерахування привести до симетричного випадку.

Діють так: вимірюють частину довжини зразка a (рисунок 5.1) симетричну відносно місця розриву і розташовану в межах розрахункової довжини. Нехай ця частина, наприклад, охоплює 6 ділянок і дорівнює 8,70 см. Для одержання відсутніх 14 ділянок (до 20-ти) заміряють праворуч (у даному прикладі) від ділянки довжину

b , рівну семи ділянкам. Припустимо $b = 8,39$ см. Тоді повна довжина зразка, приведена у випадку симетричного розриву, буде дорівнювати

$$l_z = a + 2b = 8,70 + 2 \cdot 39 = 25,48 \text{ см.}$$



Рисунок 1.5 – Вимірювання довжини зразка

Відносне подовження у процентах дорівнює

$$\delta = \frac{25,48 - 20}{20} \cdot 100 = 27,4 \text{ \%}.$$

Одночасно з подовженням зразка відбувається зменшення площі його поперечного перерізу, тобто поперечне звуження.

Для характеристики здатності випробуваного матеріалу до поперечної деформації визначають *відносне поперечне звуження шийки* – місця розриву. Для цього обидві частини розірваного зразка прикладають впритул, вимірюють діаметр шийки двічі по двох перпендикулярних напрямках і визначають середнє значення діаметра d шийки.

Відносне звуження ψ шийки визначається у процентах

$$\psi = \frac{A_0 - A}{A_0} \cdot 100\%, \quad (1.6)$$

де $A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ - мінімальна площа поперечного перерізу шийки.

Чим більше ψ , тим матеріал більш пластичний.

Нарешті визначається *питома робота деформації*. Повна робота деформації до розриву зразка виражається площею діаграми розтягання, взятої у певному масштабі. Виміряти площу S можна

планіметром або більш приблизно, розбивши її на прямокутники чи трапеції.

Для встановлення масштабу діаграми порівнюють її максимальну абсцису і ординату, виражені в сантиметрах, з відповідними значеннями Δl , знайденими раніше з виміру зразка, і значенням F_{\max} , фіксованим за манометром. Тоді масштаби будуть мати значення:

$$n = \frac{\Delta l_{z \text{ обмірюване}}}{\text{макс. абсциса діаграми}} ; \quad m = \frac{F_{\text{max обмірювана}}}{\text{макс. ордината діаграми}} .$$

Повна робота деформації дорівнює $A_{II} = S \cdot m \cdot n$. Питома робота визначається із співвідношення

$$a = \frac{A_{II}}{A_0 \cdot l_0} . \quad (1.7)$$

Чим більше ця величина, тим надійніше матеріал зразка сприймає швидкість дії навантаження, тобто краще працює при ударних навантаженнях.

Здатність матеріалу створювати опір швидкості дії навантаження часто оцінюється за величиною так званого **коефіцієнта повноти діаграми** η , який дорівнює відношенню площі діаграми розтягання S до площі прямокутника, що охоплює площу S , що рівносильне відношенню

$$\frac{A_{II}}{F_{\max} \cdot (l_z - l_0)} . \quad (1.8)$$

Порядок проведення випробування

- 1 Зразок, що підлягає випробуванню, вимірюється.
- 2 За допомогою ділильної машини на розрахунковій частині зразка наносяться мітки через кожний сантиметр його довжини.

3 Зразок закладається в захвати випробувальної машини.

4 Налагоджується для запису діаграми самописний прилад випробувальної машини: на барабан приладу накладається аркуш паперу, самопис встановлюється в зручне для запису положення і т.д.

5 Стрілки манометра (робоча і контрольна) встановлюються в нульове положення.

6 Пускається в хід мотор машини для передачі зусилля зразку.

7 Ведеться спостереження за рухом стрілки манометра: відзначаються його показання, що відповідають границі текучості, коли стрілки манометра під час випробування зупиняються на короткий проміжок часу.

8 Далі визначається максимальне значення навантаження за контрольною стрілкою, а не за робочою стрілкою, тому що після появи в зразку шийки навантаження F зменшується і робоча стрілка рухається в бік, протилежний своєму первісному руху. Контрольна стрілка зупиниться на поділці, що відповідає F_{\max} .

9 Одночасно із спостереженням за манометром ведеться спостереження за діаграмою розтягання, що показує самописний прилад.

10 Ведеться спостереження за розвитком деформації шийки, яка з'являється в момент найбільшого значення навантаження.

11 Після розриву зразка мотор машини вимикається, зразок виймається з захватів машини.

12 Проводяться виміри подовження зразка, звуження шийки, площі діаграми.

13 Знайдені значення границі міцності, границі текучості і відносного подовження порівнюються з даними механічних властивостей прокатних вуглецевих сталей, поданих в таблиці 1.2, і в такий спосіб встановлюється марка випробуваної сталі.

14 Дані вимірів і обчислень записуються в журнал випробування.

15 У журнал випробувань також заносяться схема нормального зразка (рисунок 1,а) і отримана діаграма розтягання сталі.

Звіт випробування:

1 Мета роботи.

2 Схема зразка з вказаними розмірами і місцем розриву зразка.

3 Розрахункові розміри випробуваного зразка і результати

випробування його на розрив заносимо в таблицю 1.1.

4 Діаграма розтягання.

5 Матеріал зразка, що випробувався, відноситься до _____.

Контрольні питання до роботи

- 1 Яка мета лабораторної роботи 1?
- 2 Якого напруженого стану зазнає зразок?
- 3 Які зразки використовуються в лабораторній роботі?
- 4 З якою метою в зразку робиться галтель?
- 5 Який закон використовується при виборі розмірів зразка?
- 6 Які координати використовуються при побудові машинної діаграми розтягання сталі?
- 7 Що називається границею текучості?
- 8 Що називається границею міцності?
- 9 Чому руйнування зразка відбувається при навантаженні $F < F_{\max}$?
- 10 Яка здатність матеріалу оцінюється коефіцієнтом повноти діаграми?
- 11 За якою формулою визначається абсолютне залишкове подовження зразка?
- 12 Як визначити коефіцієнт звуження шийки?
- 13 Яка властивість матеріалу характеризується коефіцієнтом звуження шийки?
- 14 Які експериментальні характеристики необхідно знати, щоб визначити матеріал зразка?

Таблиця 1.1 – Результати замірів

Найменування величини	Формули і позначення	Числове значення величини	Примітки
1 Діаметр перерізу	d_0	М	

2 Площа поперечного перерізу	$A = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4}$	_____ м ²	
3 Розрахункова довжина	$l_0 = 10 d_0$	_____ м	
4 Зусилля, що відповідає границі текучості	F_T	_____ кН	
5 Границя текучості	$\sigma_T = F_T / A_0$	_____ МПа	
6 Максимальне зусилля	F_{max}	_____ кН	
7 Границя міцності при розтяганні	$\sigma_B = \frac{F_{max}}{A_0}$	_____ МПа	
8 Довжина після розриву	l_z	_____ м	
9 Абсолютне залишкове подовження після розриву	$\Delta l = l_z - l_0$	_____ м	
10 Відносне залишкове подовження після розриву	$\frac{l_z - l_0}{l_0} \cdot 100$	_____ %	
11 Діаметр поперечного перерізу шийки	d	_____ м	
12 Площа поперечного перерізу шийки	$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$	_____ м ²	
13 Коефіцієнт звуження шийки	$\psi = \frac{A_0 - A}{A} \cdot 100$ 0	_____ %	
14 Площа діаграми розтягання	S	_____ см ²	
15 Повна робота, витрачена на розрив	$A_{II} = S_{mn}$	_____ кДж	<i>m</i> і <i>n</i> – масштаби ординат і абсцис діаграми розтягання
16 Питома робота деформації	$a = \frac{A_{II}}{A_0 \cdot l_0}$	_____ кг·см/см ³	
17 Коефіцієнт повноти діаграми	$\eta = \frac{A_{II}}{F_{max} \cdot \Delta l}$		

Таблиця 1.2 - Механічні властивості прокатних вуглецевих сталей (група А)

Марка сталі	Границя текучості σ_T , МПа	Границя міцності σ_B , МПа	Відносне подовження %, не менше		Призначення
			δ_{10}	δ_s	

Ст. 0	--	Не менше 320	18	22	Резервуарне залізо
Ст. 1 Ст. 1 кп.	--	320 – 400	26	33	Горнові в'язі
Ст. 2 Ст. 2 кп.	220	340 – 420	26	31	Котельні листи, заклепки
Ст. 3 кп.	240	380 – 400 410 – 430 490 – 520	23 22 21	27 24 23	Сталеві конструкції
Ст. 4 Ст. 4 кп	260			25 24 23	Судобудівельна, для дрібних кованих деталей
Ст. 5	280	500 – 530 540 – 570 580 – 620	17 16 15	21 20 19	Осі, вали, машинні ковані деталі
Ст. 6	310	600 – 630 640 – 670 680 – 720	13 12 11	16 15 14	Бандажі
Ст. 7	--	700 – 740 750 і більше	9 8	11 10	Ресори, пружини

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2

Випробування сталевого стрижня прямокутного поперечного перерізу на поперечний вигин

2.1 Загальні положення

Вигином називається такий вид деформації, при якому в поперечному перерізі стрижня діє внутрішнє зусилля, що називається згинальним моментом.

Якщо в поперечному перерізі стрижня діє тільки згинальний момент, то такий вигин називається чистим.

Якщо в поперечному перерізі стрижня діє згинальний момент і поперечна сила, то такий вигин називається поперечним.

2.2 Мета й методика випробування

Метою випробування є визначення прогину й нормального напруження в перерізі сталеві балки й порівняння отриманих експериментально величин з відповідними величинами знайденими теоретичним шляхом.

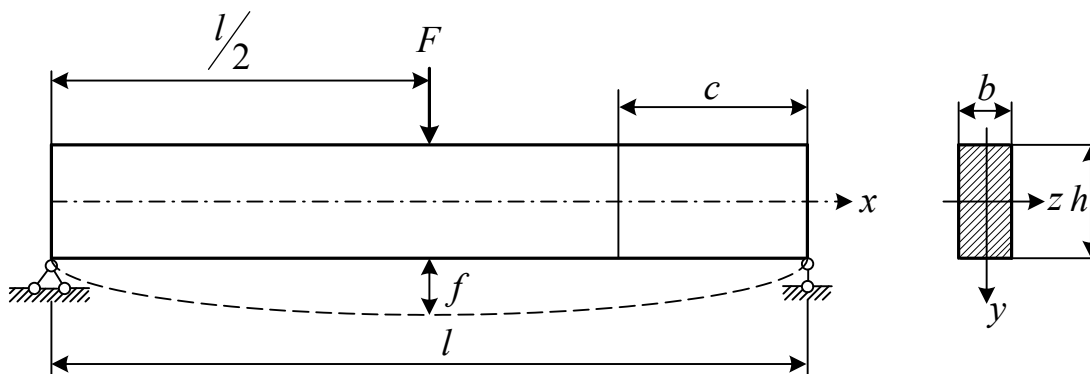


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема балки

Для випробування береться балка, розташована на двох шарнірних опорах і навантажена посередині зосередженою силою F .

Прогин балки визначається в середині прольоту, а напруження в крайнім верхнім волокні з абсцисою C (рисунок 2.1). Прогин аналітично визначається за формулою

$$f = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot EJ_z}, \quad (2.1)$$

де l - проліт балки, м;

E - модуль пружності сталі, приймаємо рівним $(2 \div 2,2) \cdot 10^5$ МПа;

J_z - осьовий момент інерції поперечного перерізу балки відносно

нейтральної осі z , m^4 .

Нормальні напруження в перерізі балки розподіляються за законом прямої (рисунок 2.2).

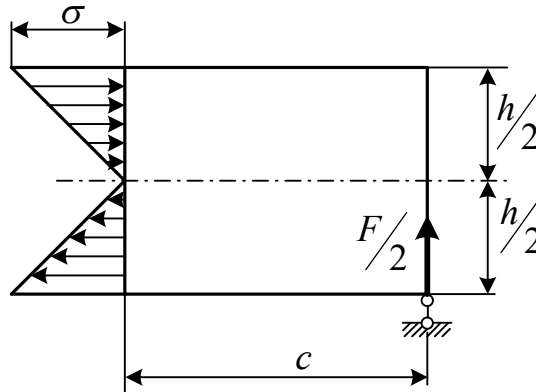


Рисунок 2.2 - Епюра нормальних напружень

Напруження в крайньому верхньому волокні з абсцисою c визначається за формулою

$$\sigma = \frac{M_c}{W_z}, \quad (2.2)$$

де M_c - згинальний момент у перерізі з абсцисою c $H \cdot m$,

W_z - осьовий момент опору поперечного перерізу балки відносно нейтральної осі, m^3 .

Для визначення напруження експериментальним шляхом, скористаємося важільним тензометром, притиснутим до крайнього верхнього волокна на відстані c (рисунок 2.1).

2.3 Опис тензометра

Подовження волокон стрижня Δ визначається спеціальним приладом, що називається **важільним тензометром**. Тензометр збільшує Δ в 1000 разів. Це збільшення необхідно, тому що Δ досить малі й не дозволяють спостерігати їх неозброєним оком. У даному випробуванні застосовується важільний тензометр, зображений на рисунку 2.3.

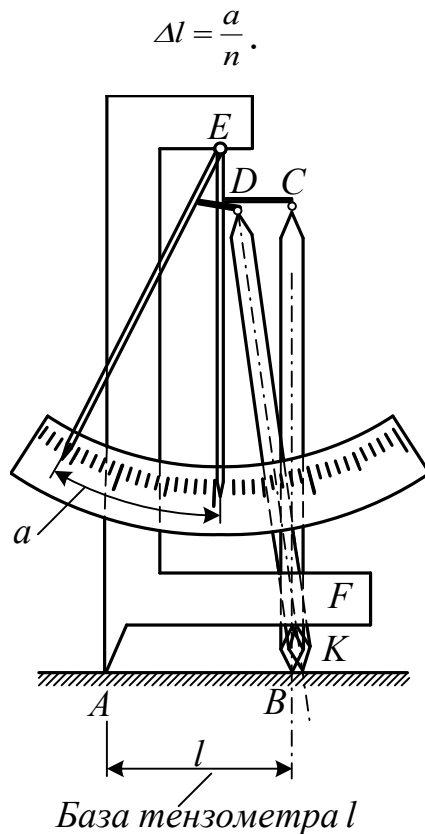


Рисунок 2.3 – Схема тензометра

Прилад складається із металевої колінчатої пластинки EF , що опирається на зразок своїм нерухомим вістрям A і рухомим ребром B призми K , що становить одне ціле з важелем KC . При подовженні зразка відстань l між точками A й B , **названа базою тензометра**, зміниться на величину Δl , призма повернеться навколо свого верхнього нерухомого ребра, завдяки чому важіль KC набуде нове положення KD . Кінець стрілки описує дугу a , пропорційну подовженню зразка Δl , тобто буде мати місце $a = n \cdot \Delta l$. Коефіцієнт пропорційності n являє собою збільшення тензометра. Це збільшення дорівнює 1000 і вказується в паспорті приладу. Знаючи n , визначається **абсолютне подовження волокна** балки в межах бази тензометра.

Для визначення прогину балки експериментальним шляхом установлюється під балкою в середині прольоту **індикатор**, **названий інакше месуром**.

2.4 Опис індикатора

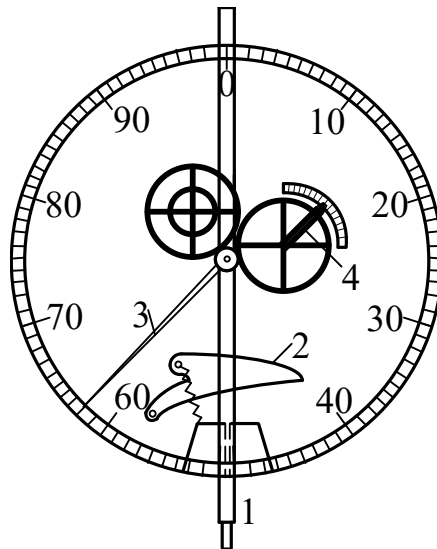


Рисунок 2.4 - Схема індикатора

У коробці приладу (рисунок 2.4), що закріплюється нерухомо на випробувальній машині, переміщається поступально штифт (1), що впирається в балку в місці визначення прогину. Пружиною (2) штифт притискається до балки й переміщується разом з балкою.

Переміщення штифта, завдяки зубчастим зачепленням, супроводжується обертанням стрілки (3), що вказує поділка на циферблаті.

Відповідно до розмірів шестеренної передачі, при переміщенні штифта на 1мм стрілка (3) робить повний оборот. По колі нанесена шкала з 100 поділками. Отже, одна поділка циферблата відповідає переміщенню штифта на 0,01мм. Одночасно стрілка (4) указує число цілих міліметрів переміщення штифта.

2.5 Випробувальна машина й установка вимірювальних приладів

Випробування виконується на універсальній машині УММ-50, яка була використана раніше при випробуванні на розтягання.

При ввімкненні машини в дію траверса (1) переміщається (рисунок 2.5) вертикально щодо нерухомого упору (2), чим і

користуються при випробуванні балки на вигин. На траверсі (1) устанавлюються дві опори (3) на відстані l одна від іншої.

На ці опори укладається випробовувана балка (4). На траверсі під балкою ставиться індикатор з таким розрахунком, щоб його штифт упирався в нижню поверхню балки. У перерізі на відстані c від правої опори закріплюється тензометр.

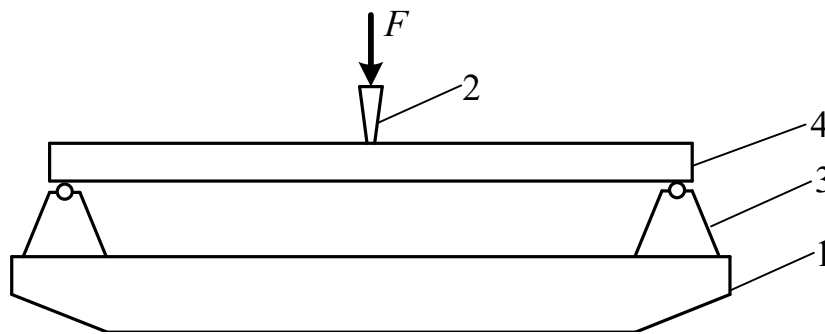


Рисунок 2.5 - Випробувальна балка

При ввімкненні машини траверса (1) разом з балкою піднімається нагору. Після зіткнення з упором (2) і подальшого підйому траверси балка буде вигинатися опуклістю вниз і нижньою поверхнею натискати на штифт індикатора, що буде фіксувати величину прогину балки. Одночасно верхні волокна балки будуть зазнавати вкорочення, яке фіксується тензометром.

Тиск балки на упор (2) відповідає навантаженню на балку посередині її прольоту. Це навантаження визначається манометром машини в будь-який момент випробування.

2.6 Проведення експерименту

1 Вимірюються за допомогою штангенциркуля розміри перерізу балки. Особливо ретельно повинна бути обмірювана висота перерізу балки h , тому що вона входить у вираження осьового моменту інерції J_z ($J_z = \frac{b \cdot h^3}{12}$) у кубі й тому неточне значення h

може сильно вплинути на результати теоретичного визначення прогину, що залежить від J_z .

2 Балка встановлюється на опори так, щоб тиск на неї передавався посередині прольоту.

3 Установлюється тензометр в обраному перерізі балки (на відстані c) і індикатор на траверсі машини під балкою посередині її прольоту.

4 Стрілки тензометра й індикатора встановлюються на нульових розподілах шкал.

5 Передається навантаження на балку до певної величини.

6 Проводиться відлік за індикатором й тензометром.

7 Дослід закінчується з таким розрахунком, щоб деформація балки під вантажем була в межах пружності. Для цього попередньо з формули

$$M = \frac{F \cdot l}{4} = [\sigma] \cdot W_z$$

визначається значення навантаження, що відповідає $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$, яке не можна перевищувати при випробуванні.

Тоді

$$F = \frac{4 \cdot [\sigma] \cdot W_z}{l}.$$

2.7 Обробка результатів експерименту

1 Визначається експериментальна стріла прогину в міліметрах за формулою

$$f = \frac{m}{100}, \text{ мм,}$$

де m - відлік за індикатором, що відповідає F .

Отримане значення порівнюється з теоретичним, яке визначається за формулою

$$f = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot EJ_z}.$$

2 Визначається відносна подовження крайнього верхнього волокна в обраному перерізі з абсцисою c при найбільшому значенні навантаження за формулою

$$\varepsilon = \frac{a}{K \cdot l},$$

де a - найбільше показання тензометра;
 l - база тензометра;
 K - збільшення тензометра ($K = 1000$).

3 Визначається експериментальне напруження за законом Гука $\sigma = \varepsilon \cdot E$, що порівнюється з теоретичним

$$\sigma = \frac{M_C}{W_z}.$$

2.8 Журнал випробування

1 Схема установки й сил, що діють на зразок

2 Геометричні величини зразка (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1

Найменування Величини	Формули й позначення	Числове значення величини	Примітка
1 Висота перерізу балки	h	$см$	

2 Ширина перерізу Балки	b	$см$	
3 Проліт балки	l	$см$	
4 Момент інерції поперечного переріза балки	$J_z = \frac{b \cdot h^3}{12}$	$см^4$	
5 Момент опору поперечного переріза балки	$W_z = \frac{b \cdot h^2}{6}$	$см^3$	

3 Журнал спостережень (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2

№№ щаблів	Наванта- ження F, H	Пока- зання індика- тора m	Приріст показання індикатора Δm	Показан- ня тензо- метра a	Приріст показан- ня тензо- метра Δa	Примітки
0						
1						

4 Результати випробування при $F = \text{_____} кгс$ (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3

Найменування величини	Формули й позначення	Числове значення величини	Примітки
1 Згинальний момент у перерізі балки	M_c	$\text{_____} кгс \cdot см$	Збільшення тензометра $K = 1000$ База тензометра $l = 20мм$
2 Теоретичне значення нормального напруження в перерізі C	$\sigma = \frac{M_c}{W_z}$	$\text{_____} МПа$	
3 Відносне подовження крайнього волокна в перерізі C	$\varepsilon = \frac{a}{K \cdot l}$	_____	

4 Експериментальне значення напруження в крайнім волокні перерізу c	$\sigma = \varepsilon \cdot E$	_____ МПа	Збільшення індикатора $m = 100$
5 Теоретична стріла прогину	$f = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot EJ_z}$	_____ СМ	
6 Експериментальна стріла прогину	$f = \frac{m}{1000}$	_____ СМ	

Контрольні питання до роботи

- 1 Що називається вигином, чистим вигином, поперечним вигином?
- 2 Як розподіляються нормальні напруження за висотою балки?
- 3 Як розподіляються дотичні напруження за висотою балки?
- 4 Що таке згинальний момент, еюра згинальних моментів?
- 5 Чи змінюються нормальні й дотичні напруження за шириною балки?
- 6 Де в поперечному перерізі балки нормальні напруження дорівнюють нулю, а дотичні - досягають максимуму?
- 7 За якою формулою визначають нормальні напруження в перерізі балки теоретично?
- 8 За якою формулою визначають дотичні напруження в

перерізі балки?

- 9 За якою формулою визначають прогин посередині балки?
- 10 Як визначають прогин балки експериментально?
- 11 Який коефіцієнт збільшення індикатора?
- 12 Яку характеристику матеріалу потрібно знати, щоб визначити прогин?
- 13 Яким приладом вимірюють подовження волокон стрижня?
- 14 Що таке база тензومتра, її розмірність і величина?
- 15 Який приблизно коефіцієнт збільшення тензومتра?
- 16 Як визначають нормальні напруження експериментально?
- 17 Як за допомогою тензومتра визначити абсолютне подовження волокна стрижня?
- 18 Як за допомогою тензومتра визначити відносне подовження волокна стрижня?
- 19 Якщо стрілка тензومتра показала 5 поділок як визначити абсолютне й відносне подовження волокна?
- 20 Якщо стрілка тензومتра показала 5 поділок, а балка виконана зі сталі Ст. 3 з модулем пружності $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, як визначити нормальне напруження?
- 21 Яка мета лабораторної роботи?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3

Випробування сталевого стрижня круглого поперечного перерізу на крутіння

3.1 Загальні положення

Крутінням називається такий вид деформації, при якому в поперечному перерізі стрижня виникає внутрішнє зусилля - крутний момент.

Вивчення крутіння прямого стрижня круглого поперечного перерізу будемо робити на схемі, зображеній на рисунку 3.1.

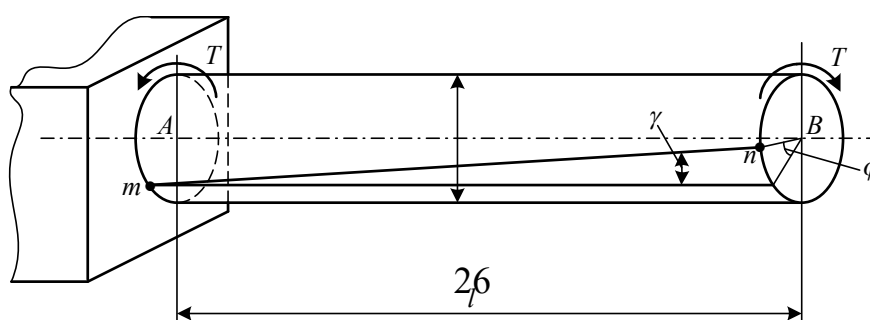


Рисунок 3.1 – Схема вала

Дотичні напруження в поперечних перерізах бруса, що скручує, розподіляються за законом прямої (рисунок 3.2).

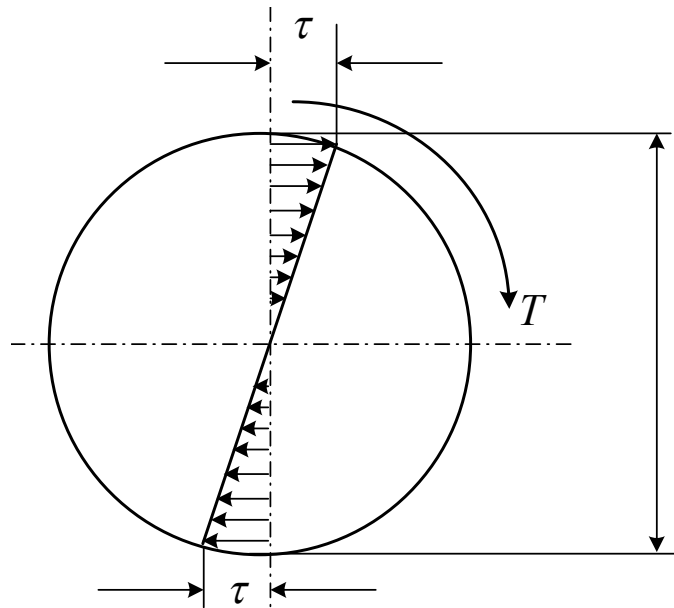


Рисунок 3.2 – Епюра дотичних напружень
Найбільші напруження визначаються за формулою

$$\tau_{\max} = \frac{T}{W_{\rho}}, \quad (3.1)$$

де $W_{\rho} = \frac{\pi \cdot d^3}{16}$ - полярний момент опору поперечного перерізу стрижня;

d - діаметр стрижня.

Тому що крутний момент T і діаметр постійні по всій довжині стрижня, тому й дотичні напруги τ_{\max} мають ті самі значення для всіх перерізів стрижня.

Кут закручування φ в перерізі B (рисунок 3.2) стосовно перерізу A , що приймається жорстко закріпленим, визначається за формулою

$$\varphi = \frac{T \cdot l}{G \cdot J_p}, \quad (3.2)$$

де $J_p = \frac{\pi \cdot d^4}{32}$ - полярний момент інерції площі перерізу;

l - довжина стрижня;

G - модуль пружності сталі при зсуві ($G = 8 \cdot 10^4$ МПа).

3.2 Мета й методика випробування

Метою випробування є визначення для сталі при крутінні межі пропорційності τ_n , межі міцності τ_B й модуля пружності при зсуві G .

Межею пропорційності при крутінні τ_n називається максимальне напруження, для якого справедливий закон Гука, тобто для якого деформації (кут закручування φ) пропорційні навантаженню (крутному моменту T).

Залежність між крутним моментом T і кутом закручування φ можна виразити за допомогою діаграми крутіння (рисунок 3.3).

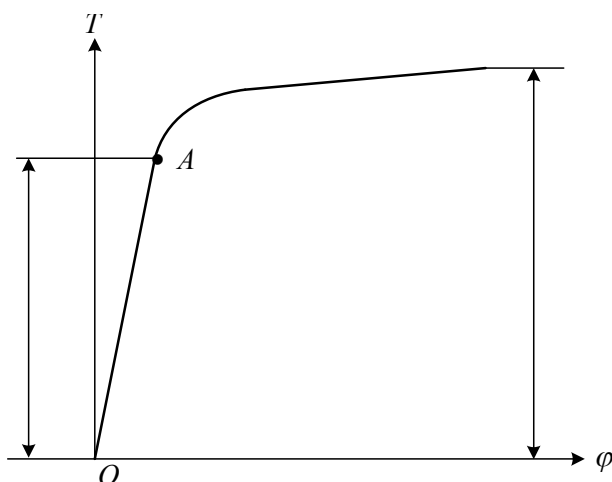


Рисунок 3.3 – Діаграма крутіння

Прямолінійна частина діаграми до точки A підкоряється закону Гука. Крутний момент T_n , тобто ордината точки A , відповідає межі пропорційності, що визначається за формулою

$$\tau_n = \frac{T_n}{W_\rho}. \quad (3.3)$$

Щоб визначити τ_n , при випробуванні необхідно знайти величину крутного моменту T_n . Його можна було б визначити з діаграми крутіння, що автоматично креслить випробувальна машина. Однак цей прийом був би занадто грубим, тому що в дійсності замість прямої OA виходить крива, хоча й така, що дуже близько підходить до прямої. Крім того, при дрібному масштабі діаграми важко точно визначити точку A , у якій пряма переходить у криву.

Тому для більш точного визначення T_n будемо передавати випробовуваному зразку крутний момент рівними відрізками ΔT й вимірювати збільшення кута закручування $\Delta\varphi$, що відповідає кожному відрізку ΔT . Той крутний момент, вище якого збільшення кута закручування буде відрізнятися від попереднього $\Delta\varphi$ більше, ніж на 50 %, будемо вважати моментом T_n , що відповідає межі пропорційності. Збільшення деформації вимірюється спеціальним приладом, що називається **торсіометром**.

Межею міцності при крутінні τ_B називається напруження, що відповідає максимальному значенню крутного моменту T_{\max} .

Межа міцності при крутінні визначається за формулою

$$\tau_B = \frac{3}{4} \cdot \frac{T_{\max}}{W_\rho}, \quad (3.4)$$

де T_{\max} - максимальний крутний момент, що вимірюється за манометром в процесі випробування зразка;

$\frac{3}{4}$ - коефіцієнт, отриманий у теорії пластичності.

Для визначення експериментальним шляхом модуля зсуву G використаємо формулу (3.2), з якої в межах пропорційності одержимо

$$G = \frac{\Delta T \cdot l}{J_\rho \cdot \Delta\varphi}. \quad (3.5)$$

3.3 Зразок для випробування

Зразок круглого поперечного перерізу. Випробуваною частиною зразка є його середня частина. Головки зразка потрібні для його захоплення у випробувальній машині. Плавний перехід (жолобник) від головок до середньої частини зразка робиться, щоб уникнути в цих місцях концентрації напруження.

Зразок повинен мати відповідну обробку головок для захоплення в машині.

3.4 Випробувальна машина

Випробування на крутіння здійснюється на машині КМ-50 з електромеханічним навантаженням вертикально розташованого зразка за ДСТ 3565-80. Найбільший крутний момент 100 Нм.

Електромеханічний привод дозволяє міняти частоту обертання ходового гвинта в межах від 0,15 до 3 про/хв.

Для установлення обраного режиму виміру на машині є перемикач діапазонів навантажень.

3.5 Проведення експерименту

1 Ретельно штангенциркулем виміряється діаметр робочої частини зразка. У виразі J_p й W_p діаметр входить у четвертому й третьому ступені, тому помилка у визначенні d може значно змінити результати подальших підрахунків.

2 Установлюється зразок у клинові захоплювачі машини. Передається початкове напруження τ_0 , щоб добре притиснути захоплювач до зразка. Це напруження для сталі приймаємо рівним

$$\tau_0 = 300 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} = 30 \text{ МПа}.$$

Тоді крутний момент T_0 , що відповідає τ_0 , буде (при $d = 1 \text{ см}$).

$$T_0 = \tau_0 \cdot W_\rho = 300 \cdot \frac{\pi \cdot d^3}{16} = 300 \cdot \frac{3,14 \cdot 1^3}{16} = 60 \text{ кгс} \cdot \text{см} = 600 \text{ Н} \cdot \text{см}.$$

Для одержання $T_0 = 600 \text{ Н} \cdot \text{см}$ навантажують зразок доти, поки стрілка циферблата манометра дійде до відповідної поділки шкали.

3 У журнал спостережень заносять початкові підрахунки, що відповідають $T_0 = 600 \text{ Н} \cdot \text{см}$ за шкалою манометра.

4 Визначається орієнтовно очікувана межа пропорційності при крутінні τ_n . Для сталі марки Ст. 3 межа пропорційності при розтяганні дорівнює $\sigma_n \approx 200 \text{ МПа}$. Приймаючи четверту теорію міцності, одержимо

$$\tau_n = 0,6 \cdot \sigma_n = 0,6 \cdot 200 = 120 \text{ МПа} = 120 \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 120 \cdot 10^2 \frac{\text{Н}}{\text{см}^2}.$$

Цьому значенню τ_n відповідає для зразка з діаметром перерізу $d = 1 \text{ см}$ крутний момент

$$T_n = \tau_n \cdot W_\rho = 120 \cdot 10^2 \cdot \frac{3,14 \cdot 1^3}{16} = 2355 \text{ Н} \cdot \text{см} \approx 2,4 \text{ кН} \cdot \text{см}.$$

5 Періодичним увімкненням машини передається зразку крутний момент рівними відрізками (наприклад $\Delta T = 300 \text{ Н} \cdot \text{см}$) і беруться відповідні показники за шкалою індикатора для кожного відрізка ΔT .

При підході до очікуваного $T_n = 2,4 \text{ кН} \cdot \text{см}$ відрізок ΔT зменшується (наприклад, беремо $\Delta T = 150 \text{ Н} \cdot \text{см}$, замість колишніх $\Delta T = 150 \text{ Н} \cdot \text{см}$) з таким розрахунком, щоб до межі пропорційності вийшло б три - чотири зменшених збільшень моменту.

6 Значення навантаження й кутів закручування заносяться в журнал спостережень. Одночасно стежать за характером наростання деформацій зразка за журналом спостережень і за діаграмою крутіння.

7 Якщо при одному і тому же самому відрізку моменту наступна різниця показань за шкалою відрізняється від попередньої

більше ніж на 50 %, то пропорційна залежність між деформацією й навантаженням вважається порушеною й останнє значення T приймається при визначенні межі пропорційності за T_n .

Після цього проводиться крейдою на циліндричній поверхні зразка твірна й триває навантаження зразка до його руйнування. Максимальний крутний момент при руйнуванні зразка фіксується контрольною стрілкою циферблата манометра, тому що в момент руйнування зразка робоча стрілка повернеться у бік, зворотній первісному руху.

8 Обробляються результати випробування, занесені в журнал спостережень, тобто обчислюються для кожного збільшення моменту ΔT відповідної різниці показники Δa за торсіометром, потім перебуває середнє збільшення показників

$$\Delta a_{cp} = \frac{\sum \Delta a}{n}, \quad (3.6)$$

де n - число збільшень ΔT до моменту, коли $T = T_n$.

9 За отриманими з досліду T_n й T_{max} визначаються межа пропорційності

$$\tau_n = \frac{T_n}{W_\rho}, \quad (3.7)$$

і межа міцності

$$\tau_B = \frac{3}{4} \cdot \frac{T_{max}}{W_\rho}. \quad (3.8)$$

Проведена крейдою на поверхні зразка твірна переходить у криву й служить ілюстрацією пластичних деформацій на поверхні стрижня при його крутінні за межею пропорційності.

10 Визначається середнє збільшення кута закручування стрижня до межі пропорційності в радіанах за формулою

$$\Delta \varphi = \frac{\Delta a_{cp}}{K}, \quad (3.9)$$

де $K = 3400$ - збільшення торсіометра.

11 Визначається модуль зсуву

$$G = \frac{\Delta T \cdot l}{J_{\rho} \cdot \Delta \varphi} \quad (3.10)$$

3.6 Журнал випробування

1 Схема сил, що діють на зразок під час дослідів, і схематичне креслення зразка.

2 Геометричні величини зразка (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1

Найменування величини	Формули й позначення	Числові значення величин	Примітка
Діаметр перерізу зразка	d	_____ див.	
Розрахункова довжина зразка (база торсіометра)	l	50 мм	
Полярний момент інерції поперечного перерізу зразка	$J_{\rho} = \frac{\pi \cdot d^4}{32}$	_____ див. ⁴	
Полярний момент опору поперечного перерізу зразка	$W_{\rho} = \frac{\pi \cdot d^3}{16}$	_____ див. ³	

3 Журнал спостережень (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2

--	--	--

№№ показань	Моменти, $\kappa H \cdot \text{см}$	Показники за шкалою і їхня різниця в поділках торсіометра		Примітка
		a	Δa	
1				Підкреслити момент, що відповідає межі пропорційності
2				
3				

4 Таблиця величин, отриманих при експерименті (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3

Найменування величин	Формули й позначення	Числове значення величин	Примітка
1 Момент, що відповідає межі пропорційності	T_n	_____ $H \cdot \text{см}$	
2 Межа пропорційності при крутінні	$\tau_n = \frac{M_n}{W_\rho}$	_____ МПа	
3 Максимальний крутний момент до руйнування зразка	T_{\max}	_____ $H \cdot \text{см}$	Збільшення торсіометра $K = 3400$
4 Межа міцності при крутінні	$\tau_B = \frac{3}{4} \cdot \frac{M_{\max}}{W_\rho}$	_____ МПа	
5 Середнє збільшення кута закручування до межі пропорційності	$\Delta\varphi = \frac{\Delta a_{\text{ср}}}{K}$	_____ радий.	
6 Модуль пружності при зсуві	$G = \frac{\Delta T \cdot l}{J_\rho \cdot \Delta\varphi}$	_____ МПа	

Контрольні питання до роботи

- 1 Яка мета лабораторної роботи?
- 2 Що називається крутінням?
- 3 Що називається межею пропорційності при крутінні?
- 4 Як визначити межу пропорційності?
- 5 Що називається межею міцності при крутінні?
- 6 Як у лабораторній роботі визначається крутний момент, що відповідає межі пропорційності?
- 7 За якою формулою визначається межа міцності при крутінні?
- 8 У яких одиницях вимірюється межа міцності?
- 9 Як називається прилад, за яким визначається крутний момент?
- 10 За якою формулою визначається полярний момент опору?
- 11 На підставі чого у формулі для визначення межі міцності уведений коефіцієнт $3/4$?
- 12 Як у лабораторній роботі визначається модуль пружності при зсуві?
- 13 Яку форму поперечного перерізу має випробуваний зразок?
- 14 Який прилад використовується в лабораторній роботі для виміру кутів закручування?
- 15 На якій машині здійснюється випробування на крутіння?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4

Обмір зубчастих коліс

Мета роботи – визначення основних параметрів циліндричного прямозубчастого стандартного колеса з евольвентним профілем зубця.

4.1 Зміст роботи і порядок її виконання

Зразком для дослідження є прямозубе зубчасте колесо, боковий профіль якого описаний евольвентою і яке виготовлено без зміщення зуборізального інструменту. Вихідними даними для виконання лабораторної роботи є: кількість зубців колеса z , яка встановлюється підрахунком, а також кут вихідного контура різального інструменту α_t , який для стандартних коліс дорівнює 20° .

До основних параметрів циліндричного прямозубчастого стандартного колеса з евольвентним профілем зубця належать:

- Оvoidний модуль зачеплення m_t , мм

$$m_t = \frac{P_b}{\pi \cdot \cos \alpha_t}, \quad (4.1)$$

де p_b – шаг зубців за основним колом, мм,

$$p_b = W_{n+1} - W_n, \quad (4.2)$$

де W_{n+1} та W_n – усереднені за трьома вимірюваннями лінійні розміри (для їх визначення необхідно відповідно до даних, поданих в таблиці 4.1, при відомому значенні загальної кількості зубчастого колеса z обрати кількість зубців z_n , яка відповідає лінійному розміру W_n та $z_{n+1} = z_n + 1$, що відповідає W_{n+1}). Після чого для визначення величини W_n необхідно зробити принаймні три заміри в різних місцях зубчастого колеса, обхоплюючи губками штангенциркуля кількість зубців z_n таким чином, щоб площини його губок торкались евольвентної частини профілю зубця (рисунок 4.1), які в кінцевому

z	12-18	19-27	28-36	37-45	46-54	55-63	64-72	73-81
z_n								

рахунку усереднюються за встановленою кількістю замірів. Відповідні дії проводять також і для визначення лінійного розміру W_{n+1} , але в цьому випадку губками штангенциркуля ведеться обхват z_{n+1} кількості зубців).

Для подальших розрахунків з таблиці 4.2 обирається стандартна величина m_t (найближча до її розрахункового значення), згідно з якою з цієї ж таблиці ведеться уточнення і величини p_b ;

Таблиця 4.1

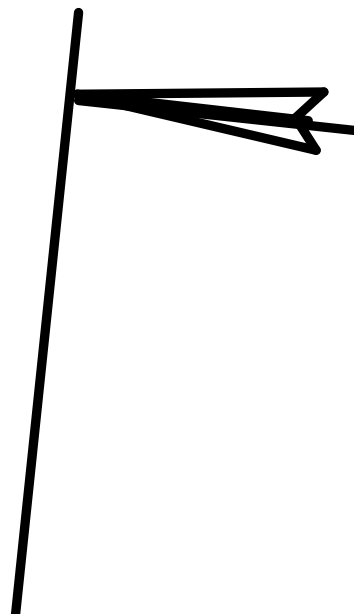


Рисунок 4.1 – Схема фрагменту зубчастого колеса

Таблиця 4.2

$p_b, \text{мм}$	$m_t, \text{мм}$	$p_b, \text{мм}$	$m_t, \text{мм}$
5,904	2	11,808	4
6,642	2,25	13,284	4,5
7,38	2,50	14,760	5,0
8,118	2,75	16,236	5,5
8,856	3,00	17,712	6,0
10,332	3,50		

- крок зубців за ділильним колом $p_t, \text{мм}$, та його діаметр $d, \text{мм}$,

$$p_t = \pi \cdot m_t, \quad (4.3)$$

$$d = m_t \cdot z, \quad (4.4)$$

- товщина зубців за основним колом $S_b, \text{мм}$, та його діаметр $d_b, \text{мм}$,

$$S_b = W_{n+1} - z_n \cdot p_b, \quad (4.5)$$

$$d_b = d \cdot \cos \alpha_t, \quad (4.6)$$

- діаметри вершин $d_a, \text{мм}$, і западин $d_f, \text{мм}$, зубців при парному їх числі замірюють штангенциркулем (рисунок 4.2).

Рисунок 4.2 – Схема колеса при парному числі зубців

Якщо ж кількість зубців колеса непарна, то для визначення цих величин використовують нижче наведені формули

$$d_a = d_{омв} + 2H', \quad (4.7)$$

$$d_f = d_{омв} + 2H'', \quad (4.8)$$

де $d_{омв}$ – діаметр отвору втулки колеса;

H' та H'' – відповідно відстані від отвору до вершини зубця та кола западин (рисунок 4.3);

Рисунок 4.3 – Схема колеса при непарному числі зубців

- висоти вершин h_a , мм, і западин h_f , мм, зубця

$$h_a = \frac{d_a - d}{2}, \quad (4.9)$$

$$h_f = \frac{d - d_f}{2}, \quad (4.10)$$

4.2 Зміст звіту

У звіті з лабораторної роботи повинно бути зазначено:

- номер роботи, її назву і мету дослідження;
- результати вимірювань лінійних розмірів, які занесені в таблицю 4.3;

Таблиця 4.3

$N n/n$	W_{n+1}	W_n
1		
2		
3		
Середнє значення		

• визначені (за вищевказаними формулами) основні параметри циліндричного прямозубчастого стандартного колеса з евольвентним профілем зубця:

крок зубців за основним колом - p_b ;
 обводовий модуль зачеплення - m_t ;
 крок зубців за ділильним колом - p_t ;
 діаметр за ділильним колом – d ;
 діаметр за основним колом - d_b ;
 діаметр кола вершин - d_a ;
 діаметр кола - западин d_f ;
 товщина зубців за основним колом S_b ;
 висота головки зубця - h_a ;
 висота ніжки зубця - h_f .

Контрольні питання до роботи

- 1 Основна теорема зачеплення.
- 2 Види зачеплення.
- 3 Ділильний обводовий крок. Визначення.
- 4 Основний обводовий крок. Як виміряти основний обводовий крок?
- 5 обводовий модуль зуба. Визначення.
- 6 Кут профілю. Визначення.
- 7 Відмінність кута профілю від кута зачеплення.
- 8 Види установлень інструмента при нарізанні колеса.
- 9 Установлення інструмента при нарізанні нульового, позитивного й негативного коліс.
- 10 Причини, що викликають необхідність нарізання зубчастих коліс зі зсувом інструмента.

11 У чому переваги й недоліки прямозубих і косозубих зубчастих коліс?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5

Побудова евольвентних профілів зубців

Мета роботи – отримати наочне уявлення про технологічний процес нарізання зубців методом обкочування і про вплив зміщення зуборізального інструменту на їх форму.

5.1 Зміст роботи і порядок її виконання

Як зуборізальний інструмент при нарізанні зубчастих коліс використовують зубчасту рейку, довб'як чи черв'ячну фрезу. Їх нарізання відбувається на спеціальних зуборізальних станках, у яких різальний інструмент і заготівка отримують такий же відносний рух, як і при нормальному зачепленні. На зубостругальних станках рейка здійснює вертикальний зворотно-поступальний рух паралельно осі колеса, що нарізається, а заготівка – одночасно два рухи подачі (поступальний вдовж рейки й обертальний відносно свого центра). У цьому випадку рейка наче обкочується по заготівці. Обкатний рух подачі заготівки відбувається в той момент, коли рейка знаходиться у верхньому положенні. Відносний рух подачі заготівки та рейки забезпечує автоматичне нарізання профілів зубців колеса за евольвентними кривими.

При нарізанні зубців за допомогою довб'яка останній здійснює зворотно-поступальний рух відносно заготівки, одночасно обертаючись навколо своєї осі, а заготівка – тільки обертальний рух подачі. Довб'як, обкочуючись навколо колеса, автоматично нарізає профілі зубців за евольвентними кривими.

Метод обкочування дозволяє нарізати зубці коліс як без зміщення зуборізального інструменту, так і зі зміщенням. В першому випадку ділильна пряма рейки чи ділильне коло довб'яка збігаються

з початковим колом колеса, яке є водночас і ділильним. У другому випадку рейку чи довб'як зміщують відносно центра заготовки колеса, що нарізається, на величину l , яка визначається за формулою

$$l = m \cdot x, \quad (5.1)$$

де x – коефіцієнт зміщення зуборізального інструменту;
 m – модуль зачеплення.

Нарізання зубців коліс без зміщення зуборізального інструменту можливе тільки для коліс з кількістю зубців $z \geq 17$. Якщо кількість зубців менше 17, то при його виготовленні без зміщення буде спостерігатися явище підрізання зубців колеса, внаслідок чого відбувається їх частий злам. Для усунення цього недоліку при виготовленні таких коліс використовується додатне зміщення зуборізального інструменту.

Увесь процес нарізання зубчастих коліс можливо відтворювати на відповідному приладі, який дозволяє виконати побудування евольвентних профілів зубців одночасно при різних положеннях зуборізальної рейки у відношенні до заготовки. Після ознайомлення з конструкцією зуборізального інструменту треба приступати до побудування зубців колеса, яке виконується таким чином:

- рейку встановлюють по відношенню до диска так, щоб її модульна пряма збігалася з натягнутими кінцями дротової петлі. Риски рейки повинні знаходитись напроти нульової поділки шкал бокових панелей напрямних;
- на диску пристрою закріплюють паперову заготовку;
- при натягнутій дротовій петлі повертають Г- подібну рукоятку ліворуч і, перемістивши потім рейку пристрою праворуч, обводять олівцем зубці, що знаходяться над папером;
- натискують до відмови на клавіші, змушуючи тим самим переміщуватися рейку ліворуч, а диск повертатися навколо своєї осі на $2-3^\circ$, обводять олівцем зубці рейки в кожному новому відносно паперу положенні. У результаті отримують на папері профілі двох-трьох зубців коліс;
- за кількістю зубців z з таблиці 5.1 обирають коефіцієнт зміщення зуборізального інструменту x . Помноживши знайдений

коефіцієнт на заданий модуль m , визначають величину зміщення рейки l .

Таблиця 5.1

Z	9	10	11	12
X	0,3	0,35	0,345	0,444

- використовуючи шкали бокових напрямних, переміщують рейку на величину l від центра заготовки і накреслюють на папері профілі двох-трьох зубців колеса зі зміщенням. Для зручності їх розміщення на паперовій заготовці диск повертають відносно його центра так, щоб раніш нанесені зубці колеса знаходились з лівого боку;

- вимірюють без зміщення і з ним:

а) товщину зуба за колами:

ділильним S_i ;

основним S_b ;

вершин S_a ;

б) ширину западин за ділильним колом l_t ;

- визначають основні розміри коліс без зміщення і з ним за формулами, що наведені в таблицях 5.2 і 5.3 відповідно;

- наносять на попередньо зняту з диска паперову заготовку з накресленими зубцями чотири кола: ділильне, основне, вершин та западин;

- вимірюють товщину зубців за вказаними колами і порівнюють з результатами розрахунків.

Таблиця 5.2

Найменування величин	Позначення і формула	Отриманий результат, мм
Діаметр кола: ділильного	$d = m \cdot z$	
основного	$d_b = d \cdot \cos \alpha$	

вершин	$d_a = m \cdot (z + 2)$	
западин	$d_f = m \cdot (z - 2,5)$	
Крок зачеплення за ділильним колом	$p_t = \pi \cdot m$	
Товщина зуба за ділильним колом	$S_t = \frac{\pi \cdot m}{2}$	

Таблиця 5.3

Найменування величин	Позначення і формула	Отриманий результат, мм
Коефіцієнт зміщення колеса	x	
Величина зміщення інструменту	$l = m \cdot x$	
Діаметр кола: Ділильного	$d = m \cdot z$	
Основного	$d_b = d \cdot \cos \alpha_w$	
Вершин	$d_a = m \cdot (z + 2h_a^* + 2x)$	
Западин	$d_f = m \cdot (z - 2h_a^* - 2c^* + 2x)$	
Крок зачеплення за ділильним колом	$p_t = \pi \cdot m$	
Товщина зуба за ділильним колом	$S_t = m \cdot \left(\frac{\pi}{2} + 2xtg\alpha \right)$	

Для довб'яка побудування зубців колеса виконується в тій же послідовності, але величина коефіцієнта зміщення зуборізального інструменту x обирається згідно з таблицею 5.4

Таблиця 5.4

z	9	10	11	12
x	0,226	0,333	0,400	0,466

Зміст звіту

У звіті з лабораторної роботи повинно бути зазначено:

- номер роботи, її назву і мету дослідження;
- визначення основних розмірів коліс без зміщення і з ним за формулами, що наведені в таблицях 5.3 і 5.4 відповідно;
- порівняння результатів вимірювання з теоретичними розрахунками (для рейки і довб'яка).

Контрольні питання до роботи

1 Яка особливість профілю зуборізального інструменту, що працює за методом копіювання й за методом обкочування?

2 У чому полягає причина низької точності зубчастих коліс, що нарізані за методом копіювання?

3 Чому для методу копіювання потрібне значно більше інструментальне господарство, ніж для методу обкочування?

4 Чим викликана низька продуктивність зубонарізання за методом копіювання (за допомогою дискових і пальцевих фрез)?

5 Який з методів (копіювання або обкочування) вимагає використання верстатів більш складної кінематики (наприклад, зубофрезерних), а який - більш простих верстатів (наприклад, фрезерних)?

6 Чому тим самим інструментом, що працює за методом обкочування, можна нарізати колеса даного модуля з різними числами зубів?

7 Чи можна зміщати інструмент (наприклад, для усунення підрізу) при нарізанні за методом копіювання?

8 Що таке вихідний контур?

9 Який знак присвоюється коефіцієнту зсуву при видаленні ділильної прямої вихідного контуру від осі колеса (заготівки)?

10 Яких позитивних якостей колеса й передачі можна домогтися вибором коефіцієнтів зсуву?

11 Який інструмент називається довб'яком?

12 Що таке виробляюча рейка?

13 Що таке виробляюче колесо?

14 Яким чином забезпечується необхідний відносний рух заготівки й довб'яка (на зубостругальному верстаті й на навчальному приладі)?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Писаренко Г.С та ін. Опір матеріалів: Підручник / Г.С. Писаренко, О.Л. Квітка, Е.С. Уманський; За ред. Г.С. Писаренка. - К.: Вища шк., 1993. -55 с.

2 Заблонский К.И. и др. Прикладная механика. - К.: Высшая школа, 1984.-279 с.

3 Мороз В.І., Іщенко В.І., Ярошок Ю.О., Карпенко Н.П., Братченко О.В. Основи розрахунків на міцність: Опорний конспект лекцій з дисципліни «Прикладна механіка». 4.1. - Харків: УкрДАЗТ, 2004. - 57 с.

4 Мороз В.І., Захарченко В.В., Братченко О.В., Надтока О.В. Основи конструювання деталей машин: Опорний конспект лекцій з дисципліни «Прикладна механіка». 4.2. - Харків: УкрДАЗТ, 2005. - 137 с.

5 Методичний посібник з додержання вимог нормоконтролю (нормативних документів) у студентській навчальній звітності / Текстова частина (пояснювальна записка). – Харків: УкрДАЗТ, 2004. - 38 с.