

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до лабораторних робіт
із навчальної дисципліни

«ОПІР МАТЕРІАЛІВ»

(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальностей G19 – Будівництво та цивільна інженерія, G19 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології, G18 – Нафтогазова інженерія та технології, G11 – Машинобудування)

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2026

Методичні рекомендації до лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Опір матеріалів» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальностей G19 – Будівництво та цивільна інженерія, G19 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології, G18 – Нафтогазова інженерія та технології, G11 – Машинобудування) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : А. О. Гарбуз, Т. О. Супрун, М. В. Павлюченков, Т. М. Альошечкіна, В. В. Виноградов. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2026. – 106 с.

Укладачі: канд. техн. наук, доц. А. О. Гарбуз,
канд. техн. наук, ст. викл. Т. О. Супрун,
канд. техн. наук, доц. М. В. Павлюченков,
ст. викл. Т. М. Альошечкіна,
канд. техн. наук, ст. викл. В. В. Виноградов

Рецензент

К. П. Барахов, кандидат технічних наук, доцент кафедри теоретичної і будівельної механіки Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою теоретичної і будівельної механіки,
протокол № 4 від 27.11.25*

Методичні рекомендації призначені для здобувачів спеціальностей G19 – Будівництво та цивільна інженерія, G19 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології, G18 – Нафтогазова інженерія та технології, G11 – Машинобудування. Подано теоретичні посилання та послідовність виконання лабораторних робіт з опору матеріалів, журнал лабораторних робіт, список рекомендованих джерел.

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Машини і прилади для випробувань.....	7
1.1 Універсальна випробувальна машина УВМ-50.....	7
1.2 Механічна машина ВМ-4Р для випробувань на розтяг.....	9
1.3 Випробувальна машина АМ-1.....	10
1.4 Машина для випробувань на витривалість.....	11
1.5 Маятниковий копер.....	12
1.6 Важільний тензометр.....	13
1.7 Індикатор годинникового типу (прогиномір).....	15
1.8 Прилади для визначення твердості.....	16
2 Лабораторні роботи.....	19
Лабораторна робота № 1 Випробування сталевго нормального зразка на розтяг.....	19
Лабораторна робота № 2 Випробування сталі на стиск.....	23
Лабораторна робота № 3 Випробування чавуну на стиск із визначенням межі міцності.....	26
Лабораторна робота № 4 Випробування сталі на зріз.....	28
Лабораторна робота № 5 Визначення коефіцієнта поперечної деформації сталі.....	30
Лабораторна робота № 6 Визначення нормальних напружень уздовж висоти перерізу під час згинання балки прямокутного перерізу.....	33
Лабораторна робота № 7 Випробування сталевго циліндричного зразка на кручення.....	37
Лабораторна робота № 8 Поперечний згин сталевгої балки з визначенням модуля пружності.....	40
Лабораторна робота № 9 Визначення прогинів та кутів повороту балки прямокутного перерізу в разі плоского згину.....	43
Лабораторна робота № 10 Випробування деревини на стиск.....	46
Лабораторна робота № 11 Випробування деревини на скіл.....	48

Лабораторна робота № 12 Визначення механічних характеристик пластмас під час розтягування.....	50
Лабораторна робота № 13 Випробування пластмас на стиск.....	52
Лабораторна робота № 14 Випробування сталі на стомленість у разі змінних за знаком напружень.....	54
Лабораторна робота № 15 Визначення питомої ударної в'язкості сталі.....	58
Лабораторна робота № 16 Визначення деформацій циліндричної гвинтової пружини під час стискання.....	61
Лабораторна робота № 17 Визначення критичної сили стиснутого шарнірно закріпленого на кінцях стрижня.....	65
Лабораторна робота № 18 Визначення напружень у разі позацентрового стиску стрижня.....	68
Список рекомендованих джерел	73
Додатки.....	74

ВСТУП

Опір матеріалів є наукою про інженерні методи розрахунку елементів споруд та машин на міцність, жорсткість і стійкість. Одним із головних завдань цієї дисципліни є з'ясування причин і характеру руйнування конструкцій. Хоча явища руйнування відомі з давніх часів, їхня природа досі вивчена не повністю.

В опорі матеріалів теоретичні положення тісно поєднані з експериментальними дослідженнями, тому вивчення курсу зазвичай супроводжується виконанням лабораторних робіт у механічній лабораторії, які слугують основою для глибшого засвоєння дисципліни.

Лабораторні роботи мають на меті:

- ознайомити студентів з основними механічними характеристиками матеріалів;
- продемонструвати закони, що пов'язують напруження і деформації;
- проілюструвати фізичну природу явищ, які виникають за різних видів деформацій;
- обґрунтувати гіпотези, на яких базуються теоретичні положення опору матеріалів.

До механічних характеристик матеріалів, що визначають їхню здатність опиратися зовнішнім силам, належать:

- модуль пружності та коефіцієнт Пуассона;
- межа пружності;
- межа пропорційності;
- межа текучості;
- межа міцності (тимчасовий опір);
- межа стомленості (витривалості);
- опір ударним навантаженням;
- питома робота деформації тощо.

Характеристики, що визначають здатність матеріалів деформуватися під час навантажень, є такі:

- абсолютна й відносна деформації (лінійна й кутова);
- прогин і кут повороту перерізу;
- кут закручення;
- поперечна деформація.

У лабораторних роботах передбачено вивчення властивостей металевих (сталь, чавун) і неметалевих (дерево, пластмаси), пластичних і крихких матеріалів.

Перед виконанням кожної лабораторної роботи студент повинен опанувати відповідний теоретичний матеріал, ознайомитися з описом машин і приладів, призначених для визначення напружень і деформацій під час випробувань. Схеми зразків, принципові схеми випробувальних машин і приладів, а також результати отриманих вимірювань і експериментів необхідно занести до спеціально підготовленого журналу.

1 МАШИНИ ТА ПРИЛАДИ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ

1.1 Універсальна випробувальна машина УВМ-50

Універсальна машина застосовується для виконання випробувань на розтяг, стиск та згин за максимального навантаження 500 кН (50 тс). Схема машини наведена на рисунку 1.1. Машина складається з трьох основних вузлів: силового агрегата, силівимірювача та робочої частини.

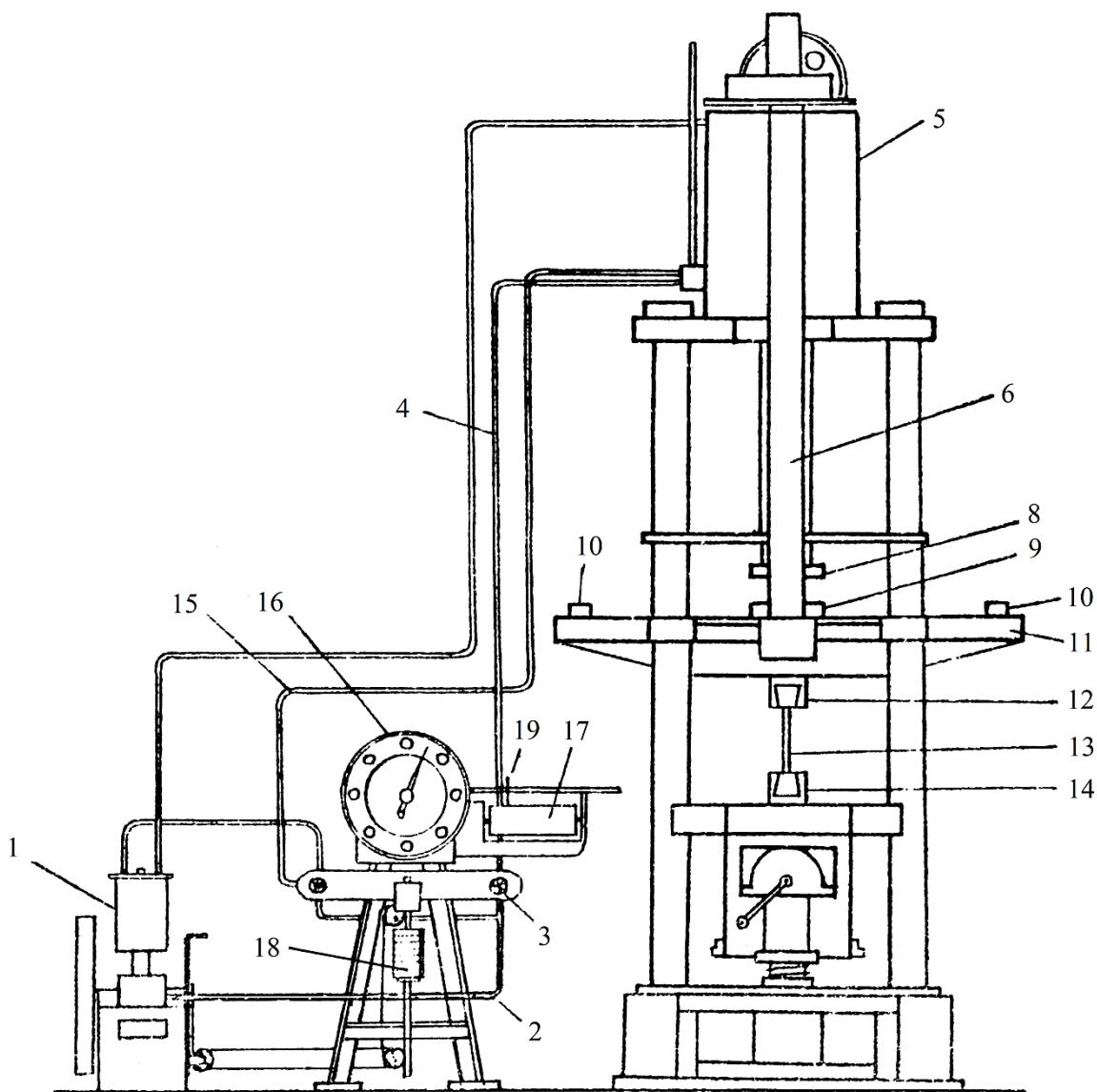


Рисунок 1.1 – Універсальна випробувальна машина УВМ-50

Силовий – це гідравлічний насос (1), який працює за допомогою електричного двигуна. Силовий агрегат пов'язаний трубопроводами (2), (4), (15) із силовимірювачем та робочою частиною.

Силовимірювач складається з гідравлічного циліндра, шток якого через важіль з'єднаний з маятником (18). Маятник через зубчасту передачу пов'язаний зі стрілкою шкали (16) силовимірювача, а також через зубчасту рейку з олівцем (19), який зміщується уздовж осі барабана (17). Кут відхилення маятника, а отже, й кут повороту стрілки на шкалі (16) та величина зміщення олівця на барабані (17) залежить від тиску рідини в циліндрі силовимірювача.

Робоча частина – це гідравлічний прес. Під тиском рідини поршень робочого циліндра (5) зміщується угору і піднімає через тяги (7) траверсу (11). У разі такого переміщення між її зачіпкою (12) та нижньою нерухомою зачіпкою (14) станини здійснюється розтяг, а між упором (9) траверси та верхнім нерухомим упором (8) – стиск. Під час випробувань на згин балку розміщують на верхніх опорах (10) траверси.

До траверси прикріплена нитка, другий кінець якої перекинута через шків барабана (17) силовимірювача. Отже, під час переміщення траверси барабан (17) повертається навколо своєї осі на відповідну величину.

Під час випробувань робоча рідина від насоса (1) через трубопровід (2), регулювальний вентиль (3) та трубопровід (4) подається до робочого циліндра (5). Поршень циліндра рухається, спричиняючи переміщення траверси (11). Отже, здійснюється навантаження на зразок: стиск, або згин над траверсою чи розтяг – під нею. Величина навантаження визначається тиском рідини у робочому циліндрі. Завдяки трубопроводу (15), що з'єднує робочий циліндр та силовимірювач, означений тиск передається на циліндр силовимірювача. Отже, залежно від тиску робочої рідини стрілка на шкалі (16) силовимірювача відображає величину навантаження. При цьому олівець (19) на барабані (17) креслить криву залежності між навантаженням і переміщенням траверси (подовженням або покоротшанням відповідно розташованого зразка).

1.2 Механічна машина ВМ-4Р для випробувань на розтяг

Машина ВМ-4Р призначена для випробувань матеріалів на розтяг. Максимальне зусилля, якого можна досягнути під час випробувань, – 40 кН (4 тс).

Кінематична схема машини наведена на рисунку 1.2.

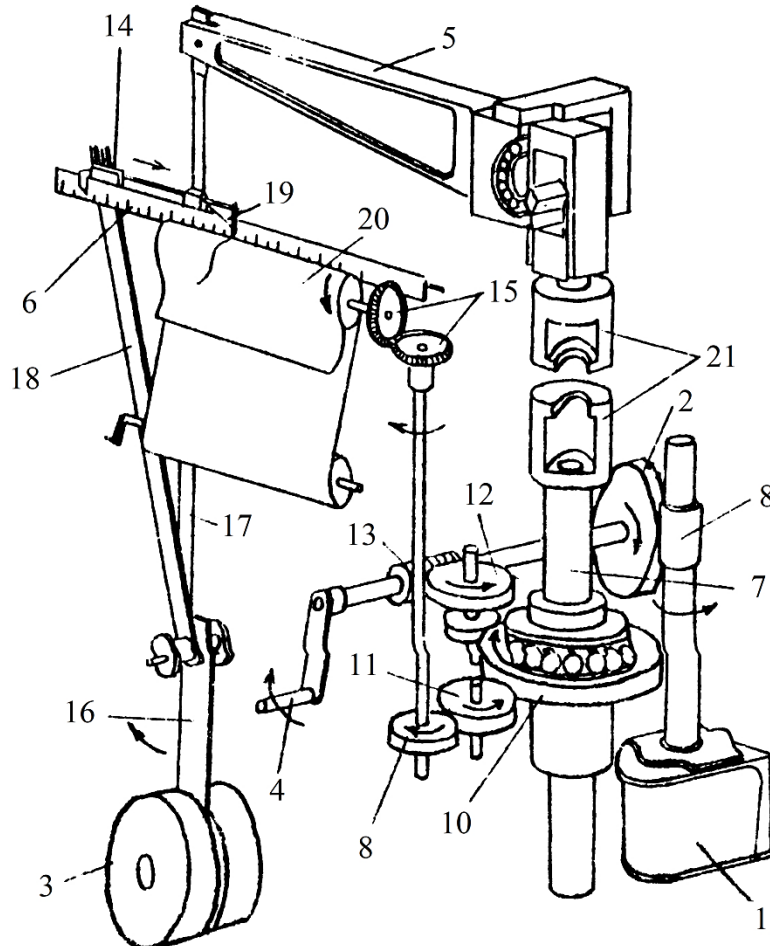


Рисунок 1.2 – Машина ВМ-4Р для випробувань на розтяг

Зразок встановлюють у зачіпки (21), які можна змінювати залежно від форми та розмірів зразка. Швидке пересування нижньої зачіпки під час встановлення зразка здійснюється вручну за допомогою маховика, закріпленого на верхній частині гвинта (7). Завантаження здійснюється від електродвигуна (1) або вручну рукояткою (4). Рух від двигуна передається через систему черв'якових (13), (9) та зубчастих (12), (2) передач на гайку (10).

Під час обертання гайки (10) гвинт (7) зміщується донизу. Закріплений у машині зразок з'єднує верхню і нижню зачіпки, за рахунок чого переміщення нижньої зачіпки спричиняє переміщення і верхньої зачіпки. Остання з'єднана з

важелем (5), а через тягу (17) – з маятником (3). Величина навантаження на зразок визначається відхиленням маятника (3) від вертикалі. Маятник з'єднаний важелем (18) з кареткою (14), яка пересувається уздовж шкали (6), відзначаючи відхилення маятника, а отже, і величину навантаження. Ціна поділки шкали становить 50 Н за одного вантажу на маятнику 3 Н і 100 Н – за двох вантажів.

Машина має діаграмний пристрій, який дозволяє автоматично реєструвати результати випробувань. Олівець (19), закріплений у каретці (14), рухається вздовж барабана (20), оберненого міліметровим папером. Кут обертання барабана залежить від переміщення нижньої зачіпки (21), з якою він пов'язаний системою передач (8) та (15). Отже, під час випробувань на папері викреслюється графік залежності подовження зразка від навантаження.

1.3 Випробувальна машина АМ-1

Машина АМ-1 призначена для проведення випробувань на кручення.

Схема машини наведена на рисунку 1.3.

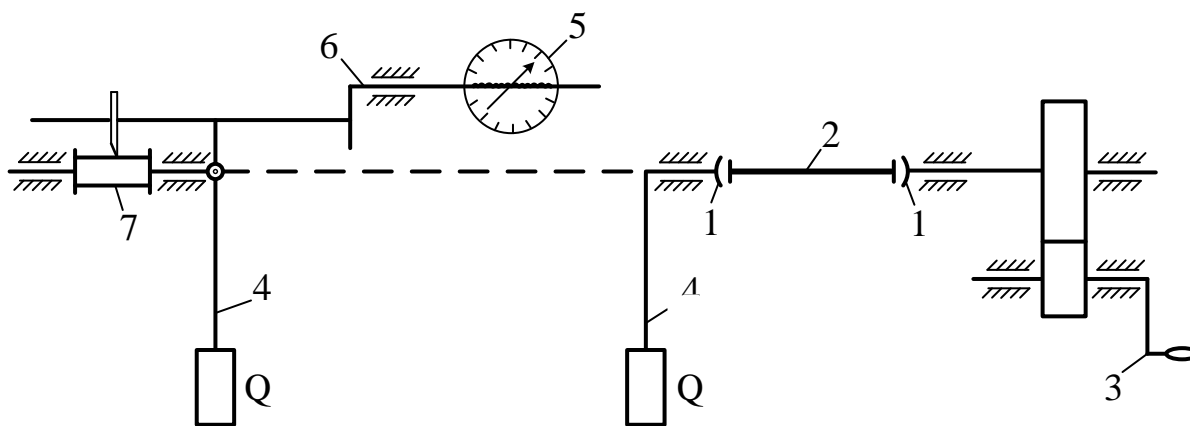


Рисунок 1.3 – Випробувальна машина АМ-1

Зразок (2) закріплюють у зачіпках (1) машини. Прикладення крутного моменту здійснюється за допомогою рукоятки (3) силозбуджувача та зубчастої передачі. Права зачіпка при цьому обертається, спричиняючи поворот лівої зачіпки, а отже, і відхилення маятника (4) із вантажем Q . Відхилення маятника від вертикалі визначає величину крутного моменту M_k . Маятник через систему передач (6) пов'язаний зі стрілкою шкали (5) силовимірювального пристрою, на

якому реєструється величина M_k . Машина обладнана діаграмним пристроєм, на барабані (7) якого викреслюється крива залежності кута закручення від величини крутного моменту.

1.4 Машина для випробувань на витривалість

Випробування на витривалість проводять на машині, схема якої наведена на рисунку 1.4.

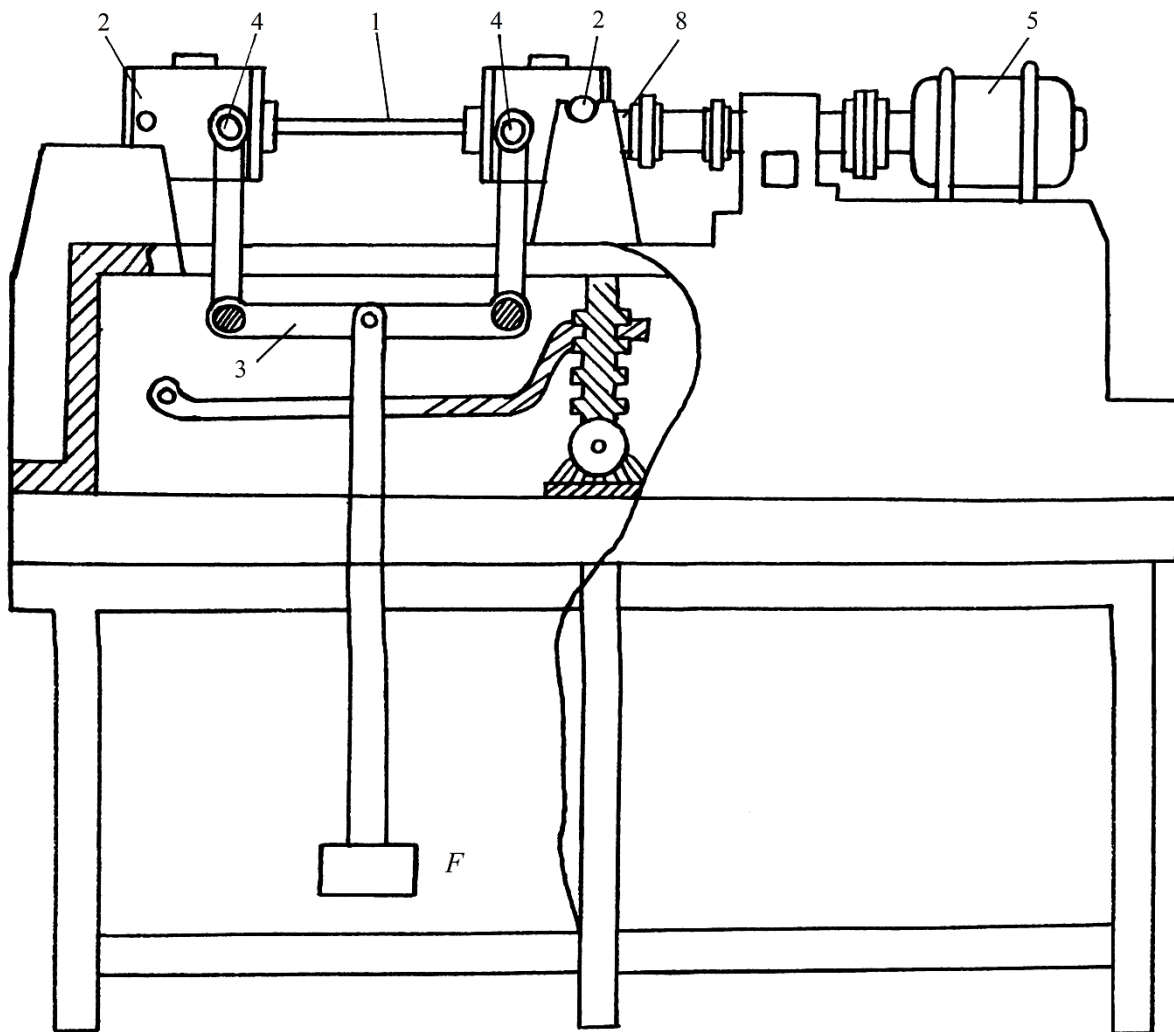


Рисунок 1.4 – Машина для випробувань на витривалість

Зразок (1) встановлений в нерухомих підшипниках (2). Навантаження F передається на зразок через систему важелів та плаваючі підшипники (4). Електродвигун (5) через редуктор (7) та зачіпку (8) передає обертання на зразок.

Оскільки площина навантаження залишається вертикальною, то під час обертання кожен переріз зразка зазнає змінних за величиною та знаком напружень. Кількість обертів, тобто кількість циклів завантаження, фіксується лічильником.

Під час руйнування зразка електродвигун автоматично вимикається.

1.5 Маятниковий копер

Копер призначений для випробувань на ударну в'язкість матеріалів.

Схема копра наведена на рисунку 1.5

Машина має чавунну основу (1), на якій закріплені загартовані опори (2). На основі змонтовані два стояки (3), між якими закріплена вісь (4) маятника (5) з молотом (6). Маятник має пристрій, що дозволяє встановити його на певний кут зарядження (на певну величину H). Зразок (7) під час випробування кладуть на опори (2). Реєструвальний пристрій (8) копра влаштований так, що його покажчик відзначає на шкалі різницю між висотою H маятника у вихідному положенні та висотою h після руйнування зразка.

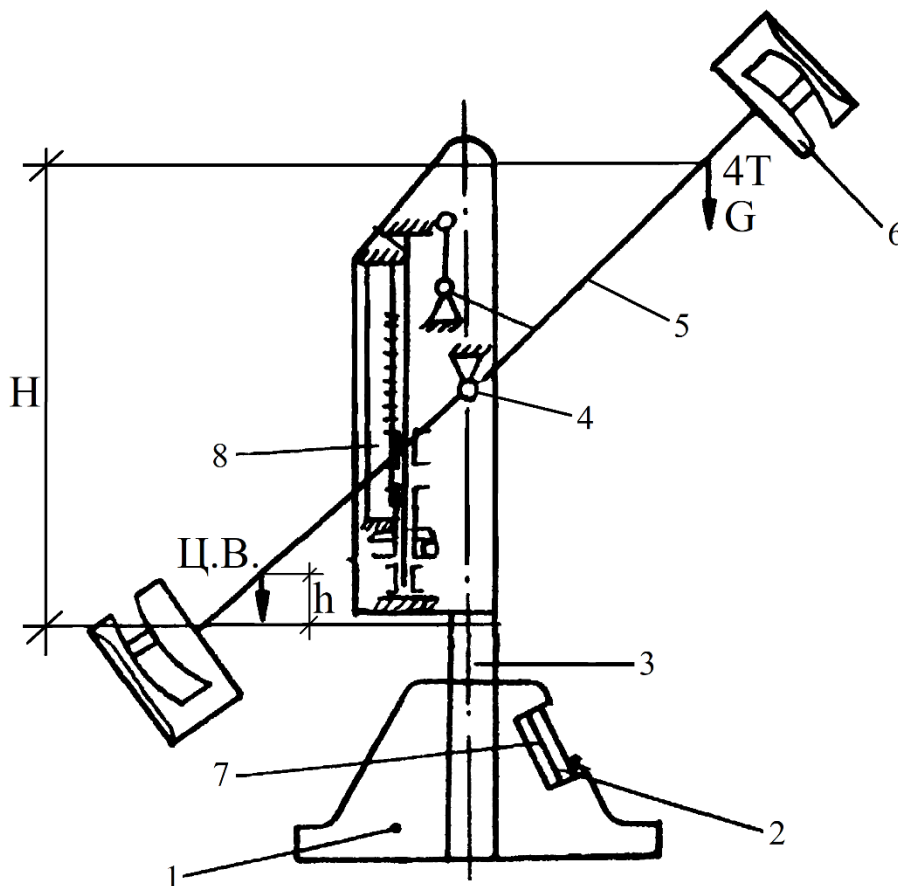


Рисунок 1.5 – Маятниковий копер

Маятник вагою G , піднятий на величину H , має певний запас енергії. У разі свого падіння він витрачає частину енергії на руйнування зразка, а отже, після проходження вертикалі, піднімається на меншу величину h . Різниця $H - h$ визначає роботу, витрачену на руйнування зразка, і обчислюється за такою формулою:

$$A = G(H - h).$$

1.6 Важільний тензометр

Тензометри, зокрема важільний тензометр Гугенбергера, є приладами, призначеними для вимірювання деформацій.

Важільний тензометр (рис. 1.6) – це прилад, що працює за принципом механічного відліку подовжень.

Коефіцієнт збільшення тензометра

$$K = \frac{H}{R_2} \cdot \frac{R_1}{a}.$$

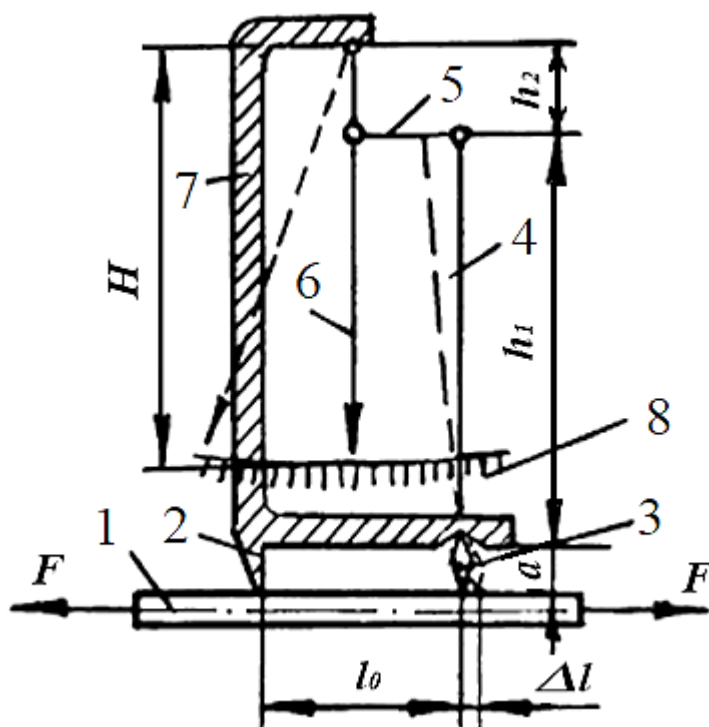


Рисунок 1.6 – Важільний тензометр

Станина (1) приладу має дві гострі ніжки – нерухому (2) й рухому (3) у вигляді призми, що хитається. Відстань між ніжками називають базою приладу l

. З рухомою призмою (3) жорстко зв'язаний важіль (4), інший кінець якого шарнірною тягою (5) з'єднується зі стрілкою приладу.

У разі подовження бази тензометра на величину $\Delta\ell$ призма (3) разом із важелем (4) нахилиється, кінець важеля зміщується в положення, і кінець тяги (5) відхиляє стрілку приладу. Різниця у відліках λ пропорційна подовженню бази $\Delta\ell$.

Зазвичай поділка шкали δ становить 1 мм, а розміри a , H , R_1 , R_2 підбирають так, щоб коефіцієнт збільшення K був у межах 1 000–1 200.

Значення коефіцієнта збільшення тензометра наведено в паспорті приладу. Отже, знаючи K , за різницею відліків λ легко визначити подовження за такою формулою:

$$\Delta\ell = \lambda / K.$$

Для закріплення важільної системи в нерухомому стані тензометр має аретир – фіксує важіль.

Правила роботи з тензометром:

1. Перед встановленням приладу на конструкцію металеві поверхні зачищають, на деревині ставлять спеціальні кнопки, бетонні поверхні за можливості згладжують або вирівнюють рідким цементом.

2. Тензометр ставлять на відповідне волокно із закритим аретиром і міцно закріплюють струбциною. При цьому площина тензометра повинна бути перпендикулярною до поверхні зразка.

3. Після встановлення приладу аретир відпускають, а стрілку в положення початкового відліку підводять регульовальним гвинтом. Цим же гвинтом стрілку переводять у протилежний бік шкали, якщо під час випробувань стрілка дійде до кінця шкали й останньої не буде вистачати для продовження відліків.

4. Відліки починають з деякого навантаження для того, щоб рухомі частини приладів були налаштовані на переміщення у певному напрямку, і вплив вільних рухів був виключений.

5. Під час відліків слідкують за тим, щоб стрілка та її зображення у дзеркалі шкали співпадали. Відліки беруть з точністю до однієї поділки.

1.7 Індикатор годинникового типу (прогиномір)

Індикатор годинникового типу (прогиномір) (рис. 1.7) призначений для вимірювання лінійних переміщень.

У напрямних корпусу (1) лінійно переміщується шток (2). Він має рейкову різьбу і зчеплення з шестернею, на осі якої нерухомо закріплена стрілка (3). Обертання цієї шестерні передається на вал з меншою стрілкою (5). Під час переміщення штока (2) шестерні разом зі стрілками (3), (5) обертаються.

Індикатор має дві шкали – велику й малу. Велика шкала (4), вздовж якої рухається стрілка (3), відповідає переміщенням штифта від 0 мм до 1,0 мм і має 100 поділок. Отже, одна поділка відповідає переміщенню штифта на 0,01 мм, а повне обертання стрілка (3) здійснить під час переміщення штифта на 1 мм. На малій шкалі стрілка (5) фіксує кількість повних обертів стрілки (3).

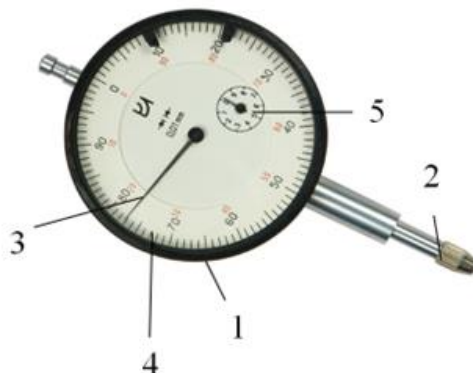


Рисунок 1.7 – Індикатор годинникового типу:

1 – корпус індикатора; 2 – рухомий шток; 3 – основна стрілка; 4 – основна шкала; 5 – лічильник обертів основної стрілки

Під час вимірювання переміщень індикатор встановлюють так, щоб кінець штифта (3) опирався на точку поверхні, переміщення якої вимірюється. У такому положенні з допомогою спеціальних кронштейнів та струбцин корпус індикатора закріплюється нерухомо. Завдяки пружині кінець штифта весь час притиснутий до точки поверхні та під час її переміщення прямує за нею.

1.8 Прилади для визначення твердості

Твердість за Брінелем. Визначення твердості цим способом здійснюють із допомогою кулькових інденторів твердістю 850 кгс/мм^2 одного з трьох діаметрів – 2,5 мм, 5 мм або 10 мм (рис. 1.8).

Число твердості за Брінелем HB має розмірність напружень кгс/мм^2 , але відповідно до стандарту її не пишуть.

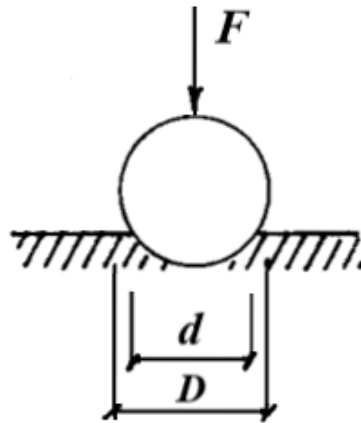


Рисунок 1.8 – Схема індентора для визначення твердості за Брінелем

Сталеву кульку діаметром D втискують у зразок, що випробовується, на приладі Брінеля (рис. 1.9). Навантаження від вантажів $A, B, B, Г$ через важелі (8), (10) передається на приладі на кульку (6) протягом певного часу. Після зняття навантаження вимірюють розмір d відбитка кульки на поверхні зразка. Число твердості за Брінелем HB визначають як відношення навантаження F до площі кульової поверхні відбитка.

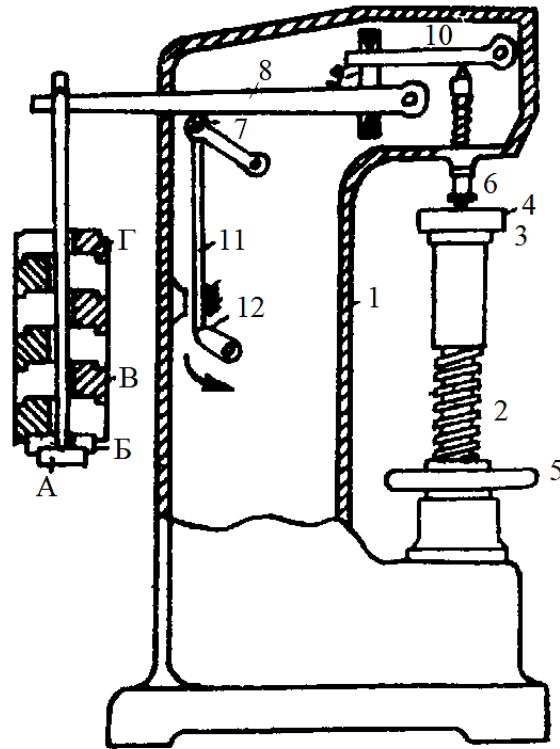


Рисунок 1.9 – Схема устаткування для випробувань на твердість за Брінелем

Твердість за Вікерсом. За розповсюдженням цей метод є другим після методу Брінеля. За цим методом у поверхню зразка втискують алмазний індентор у вигляді чотиригранної піраміди (рис. 1.10) з кутом при вершині $\alpha = 136^\circ$.

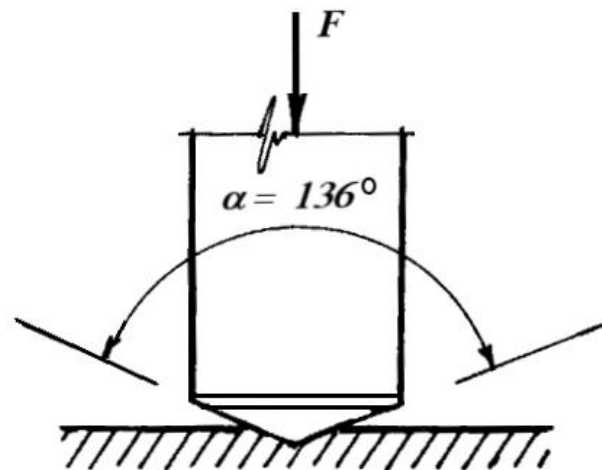


Рисунок 1.10 – Схема ідентора для визначення твердості за Вікерсом

Після зняття навантаження F , що діяло певний час (10–15 с для чорних і 30 с для кольорових металів), вимірюють діагональ d відбитка (рис. 1.11) на поверхні зразка. Число твердості за Вікерсом HV визначають діленням

навантаження в кг·с на площу бічної поверхні одержаного пірамідального відбитка у міліметрах квадратних. Числа HB та HV близькі за величиною.

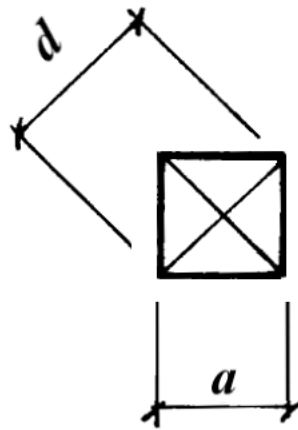


Рисунок 1.11 – Схема зразка після випробувань

Твердість за Роквелом. Під час вимірювання твердості за Роквелом індентором є алмазний конус із кутом при вершині 120° і радіусом закруглення 0,2 мм або сталева кулька діаметром 1,587 5 мм ($1/16^{11}$), які втискають у зразок під дією двох послідовних навантажень – попереднього F_0 і загального $F = F_0 + F_1$ (F_1 – основне навантаження).

Індентор на приладі Роквела втискають в поверхню зразка попереднім навантаженням $F_0 = 10$ кг·с, яке не знімається до кінця випробувань. Під цим навантаженням індентор занурюється у зразок на глибину h_1 . Далі прикладається повне навантаження $F = F_0 + F_1$ і глибина занурення збільшується до h_2 . Після зняття основного навантаження F_1 , коли на індентор діє тільки попереднє навантаження F_0 , вимірюють глибину його занурення h_3 . За останньою й визначається число твердості HR за Роквелом.

2 ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

Лабораторна робота № 1

Випробування сталевго нормального зразка на розтяг

Мета роботи: одержання діаграми розтягу сталевго зразка, ознайомлення з методикою одержання механічних характеристик матеріалів на прикладі вуглецевої сталі і визначення марки сталі за одержаними характеристиками міцності й пластичності.

За даними випробувань необхідно визначити:

- межу текучості σ_m ;
- межу міцності розриву σ_{max} ;
- абсолютне подовження розрахункової довжини Δl ;
- відносне подовження ε ;
- відносне звуження після розриву ψ ;
- площу діаграми розтягу S ;
- повну роботу, що витрачена на розрив W ;
- питому роботу деформації w ;
- міру заповнення діаграми η ;
- марку сталі.

Машини та прилади для випробувань

Роботу виконують на універсальній випробувальній машині УВМ-50 (п. 1.1). Вимірювання розмірів зразка здійснюють за допомогою штангенциркуля.

Зразок для випробування

Як показали експерименти, межа міцності матеріалу не залежить від довжини й форми перерізу зразка.

Під час випробувань на розтяг для досягнення порівнюваних між собою результатів використовують нормальні циліндричні зразки семи типів і плоскі зразки двох типів. Тип зразка визначається конструкцією його кінцівок.

У цій роботі використовується циліндричний зразок IV типу (рис. 1.1).

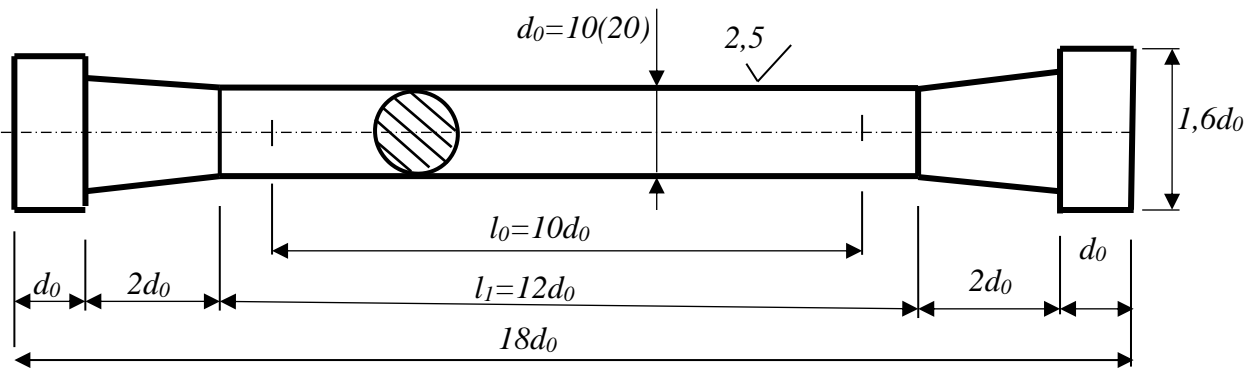


Рисунок 1.1 – Циліндричний зразок

Розрахункова довжина l_0 на зразках помічається рисками. Ця довжина повинна бути меншою, ніж відстань між кінцівками, щоб виключити вплив способу прикладання зовнішніх сил і концентрації напружень в місцях зміни перерізу. Зона цього впливу на підставі принципу Сен-Венана не перевищує меншого розміру перерізу.

Основні відомості з теорії

Особливості поведінки зразка під час випробування на розтяг наочно ілюструються діаграмою розтягу – графіком залежності між навантаженням F та абсолютним подовженням Δl . Для вуглецевої сталі вона має вигляд, наведений на рисунку 1.2.

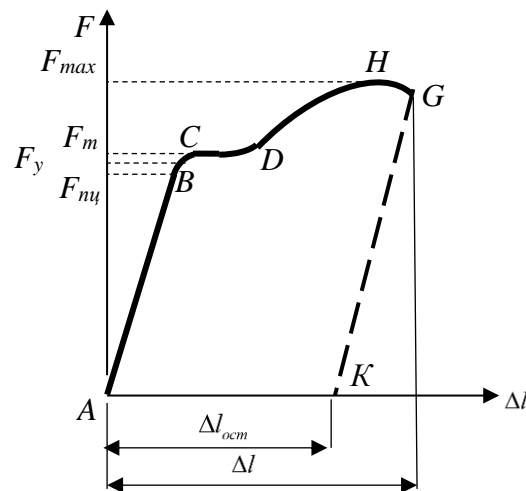


Рисунок 1.2 – Діаграма розтягу м'яких сталей

На цій діаграмі можна виділити три ділянки: лінійну AB ; горизонтальну CD та нелінійну DHG .

На ділянці AB подовження $\Delta\ell$ пропорційне навантаженню F , тобто дійсний закон Гука. Величина $F_{mц}$ визначає навантаження, що відповідає межі пропорційності. Дуже близьке до нього значення F_y , яке визначає межу пружної роботи матеріалу.

На ділянці CD подовження $\Delta\ell$ зростають у разі незмінного навантаження F_m . Таке явище, характерне для пластичних матеріалів, називається текучістю, а F_m – навантаження, що відповідає межі текучості матеріалу.

Коли зона текучості минає, навантаження знову зростає до F_{max} , після чого стрімко падає до миті розриву зразка (т. G). F_{max} – навантаження, що відповідає межі міцності матеріалу (тимчасовому опору).

Діаграма розтягу будується для цього зразка, та її масштаб залежить від розмірів останнього. Тому на основі цієї діаграми будують діаграму напружень – залежність між напруженнями $\sigma = \frac{F}{A_0}$ та відносним подовженням $\varepsilon = \frac{\Delta\ell}{\ell_0}$. Ця діаграма є характеристикою матеріалу безвідносно до розмірів зразка. На діаграмі напружень зберігаються всі характерні точки діаграми розтягу.

Падіння навантаження після досягнення F_{max} обумовлене тим, що в цей час на зразку утворюється місцеве звуження – так звана шийка (рис. 1.3). У результаті цього несуча здатність зразка зменшується. На рисунку d – діаметр шийки.

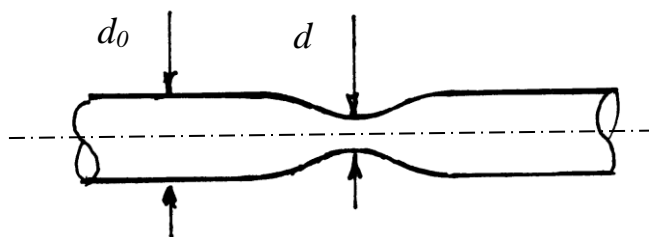


Рисунок 1.3 – Утворення шийки

Послідовність виконання роботи

За допомогою штангенциркуля вимірюють діаметр d_0 та розрахункову довжину ℓ_0 зразка, після чого закладають його в зачіпки машини УВМ-50.

Перед початком випробувань проводять попередній натяг, щоб виключити вплив люфтів та сковзання зразка в зачіпках. Далі виставляють на барабан діаграмного апарата олівець і створюють зростаюче навантаження F , доводячи зразок до розриву.

Упродовж експерименту на силовій шкалі машини відзначають навантаження F_m , що відповідає межі текучості та F_{max} . Навантаження F_m відповідає тій стадії навантаження, коли у разі зупинення збільшення зусилля відзначається зростання деформацій. Значення F_m та F_{max} одержують також за діаграмою, записаною на машині УВМ-50. На діаграмі вимірюють її площу S .

Після розриву зразка його частини виймають з машини і вимірюють довжину розрахункової частини ℓ та діаметр зразка в зоні розриву – діаметр шийки d .

Далі за одержаними даними випробувань здійснюють обчислення:

– площі перерізу зразка до випробувань

$$A_0 = \frac{\pi d_0^2}{4}; \quad (1.1)$$

– площі шийки зразка (в місці розриву)

$$A = \frac{\pi d^2}{4}; \quad (1.2)$$

– межі текучості матеріалу $\sigma_m = F_m / A_0$; (1.3)

– межі міцності $\sigma_{max} = F_{max} / A_0$; (1.4)

– абсолютного подовження $\Delta\ell = \ell - \ell_0$ (ℓ – довжина розрахункової частини зразка після розриву);

– відносного подовження $\varepsilon = \Delta\ell / \ell_0$; (1.5)

– коефіцієнта звуження шийки $\psi = \frac{A_0 - A}{A_0}$; (1.6)

– роботи, витраченої на розрив зразка $W = S \cdot m \cdot n$ (S – площа діаграми розтягу, m та n – масштаби сил та переміщень, які наведені в паспорті машини);

– питомої роботи деформації $w = \frac{W}{A_0 l_0}$. (1.7)

Маючи межу міцності, відносне подовження і межу текучості, визначають марку сталі зразка (табл. Б.1, дод. Б).

Контрольні запитання

1. Яка мета роботи?
2. Які параметри характеризують міцність матеріалу?
3. Які параметри характеризують пластичність матеріалу?
4. Назвіть характерні точки діаграми розтягу.
5. Які деформації наявні в процесі деформації зразка до руйнування?
6. Як за даними випробувань визначають марку матеріалу?
7. Яке призначення має машина УВМ-50?
8. Який принцип роботи машини УВМ-50?

Лабораторна робота № 2 Випробування сталі на стиск

Мета роботи: вивчення властивостей пластичних матеріалів під час стискання і визначення їхніх механічних характеристик.

Випробувальна машина

Випробування проводять на випробувальній машині УВМ-50 (п. 1.1).

Зразок для випробувань

Для випробування використовують зразок у вигляді циліндра з відношенням висоти до діаметра $\frac{h}{d} = 1 \dots 3$. Стиск проводять центральним навантаженням паралельно осі зразка. На міцність та характер деформацій впливають сили тертя, що діють у площинах контакту між торцями зразка і опорними плитами машини. Якщо змастити торці зразка для зменшення сил тертя, величина межі міцності виявляється меншою, ніж у разі браку мастила. Щоб одержати порівнювані результати, необхідно зазначати наявність чи брак змащування. Сили тертя протидіють деформації зразка у поперечному напрямку.

Вплив цих сил зменшується в разі віддалення від торців до середини. Через це зразок під час стискання стає бочкоподібним (рис. 2.1).

Враховуючи вплив сил тертя на результати експерименту, не рекомендується вживати дуже короткі зразки. Також не треба застосовувати довгі зразки, оскільки внаслідок навіть незначних ексцентриситетів прикладання навантаження крім стиску з'являється згин. Зі збільшенням довжини зразка зростає і вплив згину.

Основні відомості з теорії

Під час стискання зразок стає коротшим і розширюється замість подовження та звуження під час розтягування. Всі механічні характеристики матеріалів зберігають ті самі визначення та позначення, що й під час розтягування.

Отже, відносне покоротшання

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h}{h_0}, \quad (2.1)$$

де h_0 та h – висота зразка відповідно до та після експерименту.

Відносне поперечне розширення

$$\psi = \frac{A - A_0}{A_0}, \quad (2.2)$$

де A та A_0 – площа перерізу зразка відповідно після та до експерименту.

Із діаграми стиску м'якої сталі (рис. 2.2) видно, що в початковому періоді завантаження, як у разі розтягу, наявна пропорційність між силою та деформацією. Після досягнення навантаження, що відповідає межі пропорційності, лінійна залежність порушується: деформації зростають швидше, ніж навантаження.

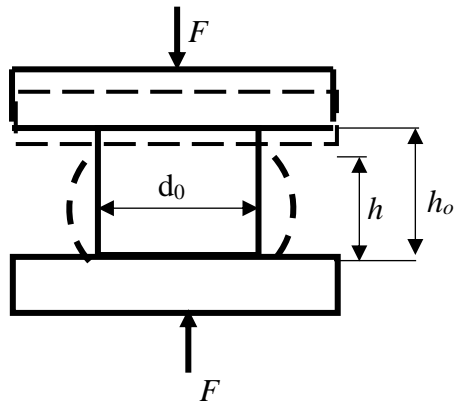


Рисунок 2.1 – Руйнування пластичних матеріалів

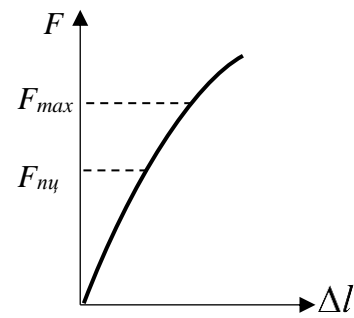


Рисунок 2.2 – Діаграма стискання сталевого зразка

У разі подальшого збільшення стискуючої сили зростання деформацій поступово стає повільним за рахунок збільшення перерізу зразка. Оскільки зразок під дією зростаючого навантаження поступово розплющується, визначити руйнівне навантаження неможливо. Тому випробування переривають за деякого навантаження F_{max} , обмежуючись вивченням поведінки та характеру деформацій пластичної сталі у разі стискання.

Визначення напружень за формулою

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A_0} \quad (2.3)$$

дає дуже умовні величини через неоднаковість перерізів зразка вздовж висоти.

Межу пропорційності під час стискання можна визначити так само, як і в разі розтягування:

$$\sigma_{мп} = \frac{F_{мп}}{A_0} \quad (2.4)$$

Послідовність виконання роботи

Перед початком випробувань вимірюють діаметр перерізу та висоту сталевого зразка.

Зразок розміщують між стискуючими площинами випробувальної машини та проводять його поступово зростаюче навантаження. Одночасно спостерігають деформації зразка. Коли стискуюча сила досягає 350–400 кН, випробування переривають.

Вимірюють діаметр та висоту зразка після деформації.

Обчислюють нормальне напруження сталі за максимального навантаження.

Результати вимірювань та обчислень заносять у журнал спостережень.

Контрольні запитання

1. Яка мета лабораторної роботи?
2. Яка форма перерізу зразка для випробувань?
3. Яке відношення висоти до діаметра перерізу повинен мати зразок?
4. Який вигляд має діаграма стиску?
5. Чи впливають сили тертя між торцями зразка та опорними плитами на форму деформування зразка і результати випробувань?
6. За якою формулою обчислюють межу пропорційності сталі під час стискання?
7. Яка розмірність умовної межі міцності й межі пропорційності сталі?
8. Якої форми набуває зразок під час стискання?
9. За якими формулами визначають відносне покортшення та відносне розширення зразка?

Лабораторна робота № 3

Випробування чавуну на стиск із визначенням межі міцності

Мета роботи: вивчення властивостей крихких матеріалів під час стискання та визначення межі міцності чавуну.

Випробувальна машина

Експеримент виконують на випробувальній машині УВМ-50.

Зразок для випробувань

Випробування чавуну на стиск зазвичай проводять на зразках циліндричної форми з відношенням висоти до діаметра у межах $h/d = 1-2$ (рис. 3.1).

Для таких крихких матеріалів, як камінь та бетон зазвичай зразок беруть у вигляді куба.

Основні відомості з теорії

Крихкі матеріали (чавун, камінь, бетон тощо) на стиск працюють значно краще, ніж на розтяг, тому вони використовуються саме в стиснутих елементах споруд. Отже, випробування на стиск для таких матеріалів є основними.

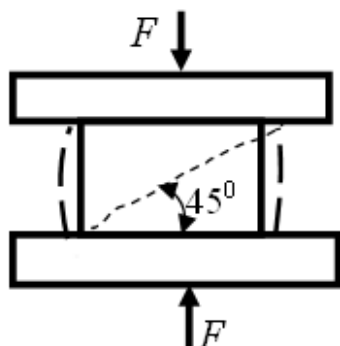


Рисунок 3.1 – Руйнування чавунного зразка під час стискання

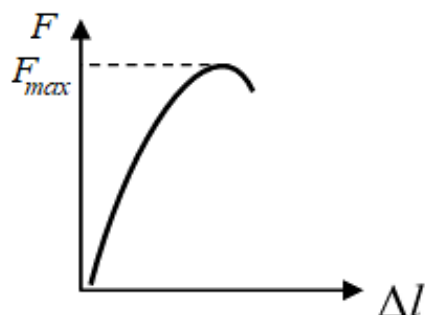


Рисунок 3.2 – Діаграма стиску чавунного зразка

На початку дії навантаження діаграма стиску чавунного зразка дуже близька до прямої (рис. 3.2). Відхилення її від осі F мале.

Точної пропорційності між навантаженнями та покоротшеннями немає, тобто закон Гука в цьому випадку не діє. Однак в межах тих напружень, за яких матеріал зазвичай застосовується в конструкціях, відхилення від закону Гука незначне і на практиці ним нехтують.

Зі збільшенням навантаження діаграма суттєво викривляється, зростання деформацій випереджає зростання навантаження. Руйнування зразка відбувається миттєво за достатньо значного навантаження F_{max} . Руйнування відбувається вздовж похилих площин, кут яких із віссю зразка складає $45-50^\circ$. Цей кут нахилу площин руйнування близький до кута нахилу найбільших дотичних напружень.

Стиснутий зразок дещо змінює попередню циліндричну форму на бочкоподібну, що свідчить про наявність невеликих пластичних деформацій (значно менших, ніж у сталі).

Межу міцності чавуну визначають за такою формулою:

$$\sigma_{max} = F_{max} / A_0. \quad (3.1)$$

Відзначимо, що діаграми стискання і розтягання крихких матеріалів мають однакову форму, але межа міцності в разі стискання (500–1 000 МПа) у декілька разів перевищує межу міцності під час розтягування (210–320 МПа).

Послідовність виконання роботи

Після вимірювання зразок встановлюють між стискуючими площинами машини і проводять його стиск до руйнування. Значення навантаження F_{max} , за якого відбулося руйнування, заносять у журнал спостережень.

Обчислюють межу міцності чавуну на стиск і за таблицею Б.2 додатка Б визначають марку чавуну.

Контрольні запитання

1. Яка мета лабораторної роботи?
2. Яка форма перерізу зразка для випробувань?
3. Який вигляд має діаграма стиску чавуну?
4. Для яких матеріалів випробування на стиск має важливе практичне значення?
5. Як відрізняються діаграми стиску чавуну та сталі?
6. Чому руйнування зразка відбувається вздовж площин, нахилених під кутом 45^0 до його осі?
7. За якою формулою визначають межу міцності чавуну під час стискання?

Лабораторна робота № 4 Випробування сталі на зріз

Мета роботи: вивчення характеру руйнування, визначення тимчасового опору сталі в разі зсуву.

Випробувальна машина та прилади

Випробування проводять на випробувальній машині УВМ-50 (п. 1.1) або іншій.

Зразок для випробувань

Для випробувань використовують сталевий циліндричний зразок діаметром $d_0 = 2$ см і довжиною 14 см. Зразок вкладають у отвір пристрою, схема якого наведена на рисунку 4.1.

Під дією навантаження, утвореного випробувальною машиною, середня частина пристрою зсувається разом із середньою частиною зразка відносно крайніх нерухомих частин. У місцях дотику середньої й крайніх частин відбувається зсув (точніше – зріз) зразка. Робоча площа A_0 зрізу дорівнює подвоєній площі поперечного перерізу зразка.

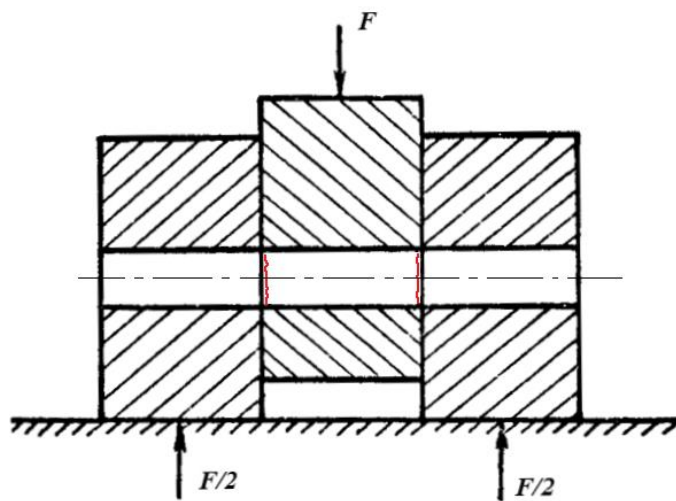


Рисунок 4.1 – Схема випробування сталевого зразка на зріз

Основні відомості з теорії

Зсув відбувається в тому випадку, якщо два нескінченно близькі паралельні перерізи намагаються зміститися один відносно іншого, залишаючись нескінченно близькими та паралельними. Якщо всі точки одного перерізу зміщуються відносно іншого однаково за величиною та напрямком, така деформація відповідає чистому зсуву. При цьому дотичні напруження, що протидіють зсуву, будуть рівномірно розподілені в перерізі. Відтворити чистий зсув експериментально неможливо через низку обставин. Тому деформацію зсуву можна наочно відтворити явищем зрізу матеріалу зразка. Межа міцності на зріз визначається за формулою

$$\sigma_{\text{max.c.}} = \frac{F_{\text{max}}}{2A_0}, \quad (4.1)$$

де F_{max} – максимальне зусилля, що витримав зразок;

A_0 – площа одного зрізу:

$$A_0 = \frac{\pi d_0^2}{4}, \quad (4.2)$$

де d_0 – діаметр перерізу зразка.

Послідовність випробувань

Вимірюють діаметр зразка d_0 . Пристрій із закладеним у нього зразком встановлюють між стискуючими площинами випробувальної машини.

Вмикають машину, поступово збільшуючи навантаження. Фіксують значення навантаження F_{max} , що відповідає руйнуванню зразка.

Дані обмірювання зразка та F_{max} заносять у журнал випробувань.

Обчислюють межу міцності сталі на зріз.

Контрольні запитання

1. Назвіть мету лабораторної роботи.
2. Яку деформацію називають чистим зсувом?
3. Який зразок використовують під час випробування?
4. Скільки площин зрізу має зразок?
5. Які напруження виникають у площинах зрізу зразка?
6. Чому дорівнює площа зрізу?
7. Як обчислюють межу міцності в разі зрізу?

Лабораторна робота № 5

Визначення коефіцієнта поперечної деформації сталі

Мета роботи: визначити коефіцієнт поперечної деформації – коефіцієнт Пуассона.

Випробувальна машина та прилади

Для проведення випробувань можна використати як гідравлічні, так і механічні машини для розтягу. Цю роботу виконують на машині ВМ-4Р (п. 1.2).

Для вимірювання деформацій використовують механічні тензометри (п. 1.5).

Зразок для випробувань

Для розтягу використовують плоский сталевий зразок прямокутного перерізу довільної ширини та товщини. Щоб виключити вплив напруженого стану в місцях затискування зразка на показання тензометрів, вважають, що його довжина повинна в чотири-п'ять разів перевищувати ширину.

Основні відомості з теорії

Велика кількість експериментів довели, що за одноосьового розтягу (стиску) сталевого стрижня останній змінює свої розміри як у поздовжньому, так і в поперечному напрямках. За одноосьового розтягу поздовжні його розміри збільшуються, а поперечні зменшуються. Здатність матеріалу до деформування характеризується відносними деформаціями:

– поздовжньою

$$\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell_0}; \quad (5.1)$$

– поперечною

$$\varepsilon' = \frac{\Delta b}{b_0}, \quad (5.2)$$

де $\Delta \ell = \ell_1 - \ell_0$ – абсолютна поздовжня деформація, що визначається як різниця між довжиною ℓ_1 стрижня в разі дії навантаження та первісною довжиною ℓ_0 ;

$\Delta b = b_1 - b_0$ – абсолютна поперечна деформація, що визначається як різниця між шириною b_1 стрижня в разі дії навантаження та первісною шириною.

Модуль частки, одержаної діленням відносної поперечної на відносну поздовжню деформацію, називається коефіцієнтом поперечної деформації або коефіцієнтом Пуассона:

$$\nu = \left| \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \right|. \quad (5.3)$$

Коефіцієнт Пуассона залежить виключно від пружних властивостей матеріалу і для кожного матеріалу постійний у межах лінійної пружності. Модуль

пружності та коефіцієнт Пуассона цілком характеризують пружні властивості матеріалу. Для реальних матеріалів ν може набувати значень від 0 до 0,5. Наприклад, для пробки $\nu = 0$, для каучуку та парафіну $\nu \approx 0,5$. Для більшості матеріалів ν знаходиться в межах 0,25...0,3 і не залежить від знака навантаження, тобто є однаковим у разі розтягування й стискання. Для дюралю $\nu = 0,31...0,36$.

Послідовність виконання роботи

Зразок закріплюють у зачіпки машини з перевіркою його центрування. У разі застосування важільних тензометрів їх ставлять після закріплення зразка в машині. Схема розташування тензометрів показана на рисунку 5.1: 1 – тензометр, розташований вздовж напрямку дії навантаження (на поздовжній осі зразка), 2 – тензометр, розташований поперек дії навантаження.

Навантаження прикладають частками $\Delta F = 5$ кН. За кожним ступенем навантаження беруть відліки на тензометрах. Випробування продовжують до навантаження $F_{max} = 30$ кН. Така методика експерименту дає можливість зменшити вплив імовірних похибок і підтвердити існування лінійної залежності між поздовжніми та поперечними деформаціями в межах пружної роботи матеріалу.

Позначимо Δl_1 та Δl_2 – абсолютне подовження та звуження зразка в межах баз тензометрів (1) та (2), що відповідають одному ступеню навантаження ΔF .

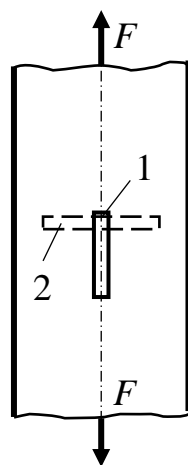


Рисунок 5.1 – Схема розташування тензометрів

Тоді коефіцієнт Пуассона обчислюється за такою формулою:

$$\nu = -\frac{\varepsilon'}{\varepsilon} = -\frac{\Delta l_2}{\Delta l_1}. \quad (5.4)$$

Якщо для вимірювання подовжень використовуються тензometri з однакою базою, значення коефіцієнта Пуассона можна одержати за відношенням відліків тензометрів:

$$\nu = \frac{n_2}{n_1}. \quad (5.5)$$

Контрольні запитання

1. Що таке коефіцієнт Пуассона?
2. Які з деформацій, поздовжні чи поперечні, в разі розтягу більше за модулем?
3. Які зразки використовують для випробувань?
4. Назвіть межі, в яких повинен знаходитись коефіцієнт Пуассона в усіх випадках.
5. Які з наведених нижче величин не можуть бути значеннями коефіцієнта Пуассона для сталі: 0,5; 0,28; 0,15?

Лабораторна робота № 6

Визначення нормальних напружень уздовж висоти перерізу під час згинання балки прямокутного перерізу

Мета роботи: експериментальна перевірка лінійного закону розподілу нормальних напружень уздовж висоти перерізу сталевий балки та порівняння результатів експерименту з теоретичними значеннями.

Випробувальна машина та прилади

Роботу виконують на випробувальній машині УВМ-50 (п. 1.1). Для вимірювання деформацій використовують важільні тензometri (п. 1.5).

Зразок для випробувань

Для роботи потрібна сталевий балка прямокутного перерізу висотою 10 см, шириною 3 см. Довжина балки становить 110 см. Модуль пружності сталі $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$.

Схема завантаження балки та розташування тензометрів наведена на рисунку 6.1.

Балку встановлюють на шарнірні опори A та B випробувальної машини, відстань між якими $L = 100$ см. Для забезпечення симетричного завантаження застосовують допоміжну балку CD , що передає навантаження на балку AB через опори C та D , розташовані на відстані $a = 30$ см. Для визначення напружень (деформацій) в зоні чистого згину (ділянка CD) встановлюють уздовж висоти 5 тензометрів. Координати розміщення тензометрів: $y_1 = 4,0$ см; $y_2 = 2,0$ см; $y_3 = 0$ (нейтральна вісь); $y_4 = -2,0$ см; $y_5 = -4,0$ см.

Основні відомості з теорії

З курсу опору матеріалів відомо, що під час визначення нормальних напружень у разі згину беруть гіпотезу плоских перерізів (гіпотезу Бернуллі).

У разі плоского згину в межах пружної роботи матеріалу балки напруження у точках поперечного перерізу визначають за формулою Нав'є:

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I_z}, \quad (6.1)$$

де M – згинальний момент у перерізі балки;

y – відстань від нейтральної осі до тієї точки перерізу, в якій визначають напруження;

I_z – момент інерції перерізу відносно нейтральної осі.

Найбільші нормальні напруження виникають у найбільш віддалених від нейтральної осі точках перерізу:

$$\sigma_{\max} = \frac{M \cdot y_{\max}}{I_z} = \frac{M}{W_z}, \quad (6.2)$$

де W_z – момент опору перерізу відносно нейтральної осі.

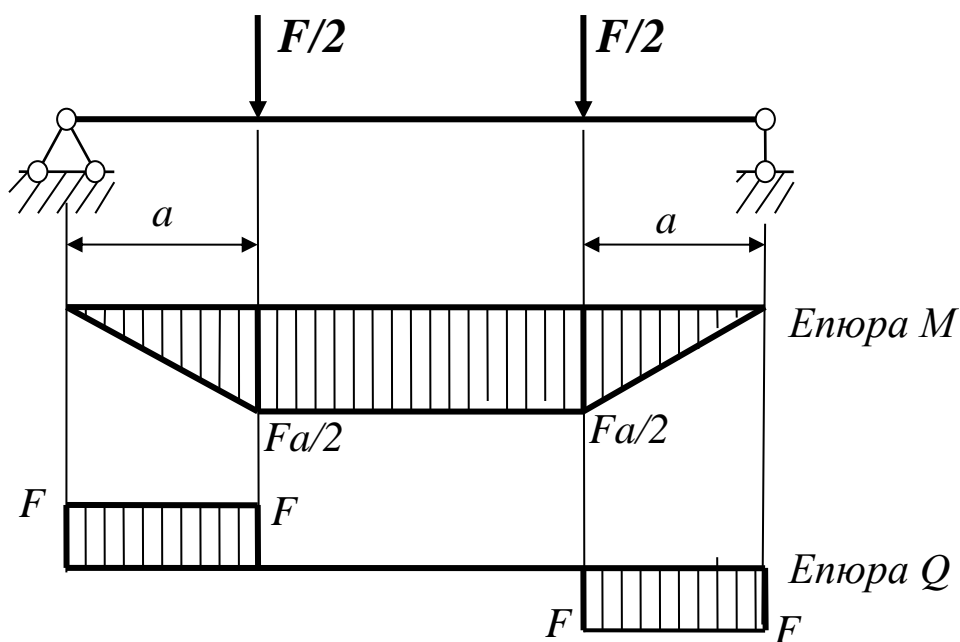
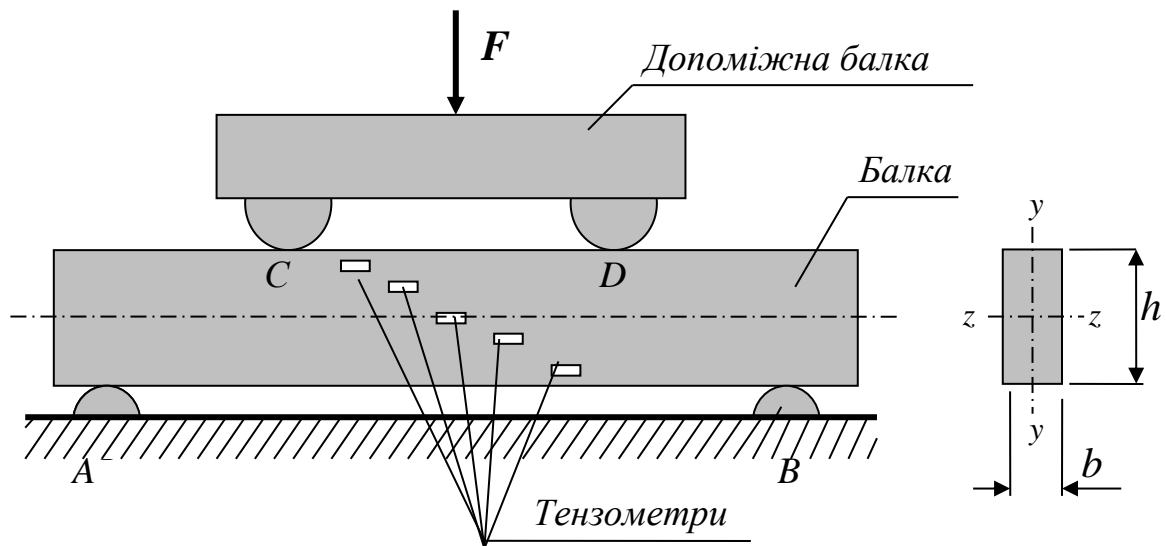


Рисунок 6.1 – Схема завантаження балки та розташування тензометрів

Для перевірки гіпотези плоских перерізів достатньо перевірити дійсність формули (6.2) для кількох точок перерізу, тобто порівняти напруження, знайдені експериментальним шляхом та за означеною формулою.

У разі чистого згину поперечної сили в перерізах немає, отже, зсуву також немає, а дотичні напруження $\tau = 0$. Нормальні напруження будуть однакові для волокна балки, що знаходиться на одній відстані від нейтральної осі в усій зоні чистого згину. Це дозволяє розташувати тензометри для вимірювання деформацій у різних перерізах зони чистого згину, а визначені напруження віднести до одного перерізу.

Для визначення нормальних напружень за результатами випробувань використовують закон Гука (6.3):

$$\sigma = \varepsilon \cdot E, \quad (6.3)$$

де ε – відносна лінійна деформація за вимірами тензометра;

E – модуль пружності матеріалу балки.

Послідовність виконання роботи

На початку випробувань необхідно вибрати вільний рух у тензометрах, тому перший відлік знімають на всіх п'яти тензометрах у разі навантаження 5 кН (500 кгс). Далі навантаження збільшують ступенями по 5 кН до 30 кН (3 000 кгс). На кожному ступені навантаження відліки тензометрів записують у журнал лабораторних робіт.

Найбільше навантаження під час випробування (30 кН) обирають так, щоб напруження не перевищували межі пропорційності матеріалу балки.

У журналі лабораторних робіт обчислюють теоретичні (6.1) та експериментальні (6.3) значення напружень в усіх п'яти точках. Порівнюючи ці значення, обчислюють різницю у відсотках. Для наочності за одержаними даними будують епюри нормальних напружень уздовж висоти перерізу, накладаючи експериментальну й теоретичну епюри одна на іншу. Відхилення експериментальних значень напружень від теоретичних обумовлені похибками випробувань та обраним умовним модулем пружності, який може відрізнятись від дійсного.

Контрольні запитання

1. Яка мета лабораторної роботи?
2. Як залежить величина нормальних напружень від розташування точки вздовж висоти перерізу?
3. Якими приладами вимірюють деформації?
4. Яку пружну характеристику матеріалу необхідно знати для обчислення напружень за деформаціями?

Лабораторна робота № 7

Випробування сталевго циліндричного зразка на кручення

Мета роботи: вивчення поведінки матеріалу під час крутіння; визначення межі пропорційності τ_{nu} , межі міцності τ_{max} та модуля пружності G в разі зсуву.

Випробувальна машина та прилади

Випробування зразка на кручення здійснюють на машині АМ-1 (п. 1.3).

Для вимірювання кутів закручення зразка використовується пристрій з індикатором годинникового типу (п. 1.6).

Зразок для випробувань

У роботі використовують стандартний циліндричний зразок ($d = 0,8$ см, $\ell = 10$ см – розрахункова довжина). Модуль пружності першого роду матеріалу зразка E , коефіцієнт поперечної деформації (Пуассона) μ відомі. Зразок і схема сил, що впливають на нього, наведені на рисунку 7.1.

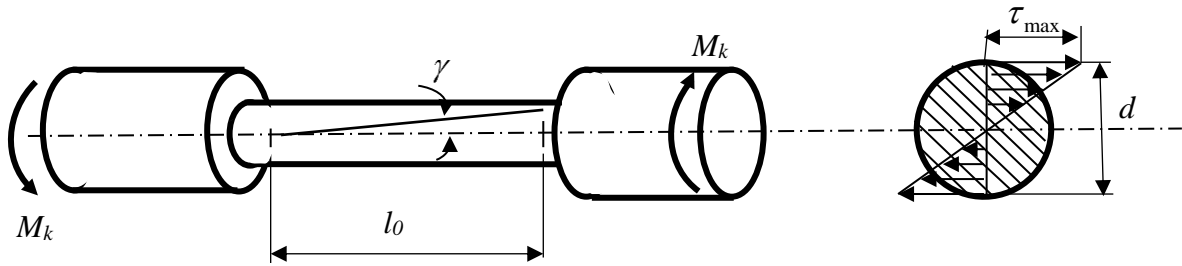


Рисунок 7.1 – Зразок і схема навантажень, які впливають на зразок

Основні відомості з теорії

Під час крутіння зразка в точках його перерізу виникають дотичні напруження

$$\tau = \frac{M_k \cdot \rho}{I_\rho}, \quad (7.1)$$

де M_k – крутний момент у перерізі;

ρ – відстань від центра кручення перерізу (центра круглого перерізу) до точки, в якій визначають напруження;

$$I_\rho = \frac{\pi d^4}{32} \text{ – полярний момент інерції круглого перерізу.}$$

Найбільшого значення дотичні напруження досягають у точках перерізу на поверхні зразка, якщо $\rho = \rho_{max} = r$:

$$\tau_{max} = \frac{M_k \cdot r}{I_\rho} = \frac{M_k}{W_\rho}, \quad (7.2)$$

де $W_\rho = \frac{I_\rho}{r} = \frac{\pi d^3}{16}$ – момент опору крученню круглого перерізу.

Модуль пружності у разі зсуву можна знайти за формулою для кута закручення зразка

$$\theta = \frac{M_{кшц} \cdot \ell}{GI_\rho}, \quad (7.3)$$

де $M_{кшц}$ – крутний момент, що відповідає межі пропорційності, на розрахунковій довжині ℓ зразка;

θ – кут закручення зразка на довжині ℓ ;

G – модуль пружності матеріалу в разі зсуву.

Отже,

$$G = \frac{M_{кшц} \ell}{\theta I_\rho}. \quad (7.4)$$

Наведені формули для θ та G дійсні для крутних моментів $M_k \leq M_{кшц}$, тобто коли матеріал зразка працює в пружній стадії.

Послідовність виконання роботи

Перед випробуваннями вимірюють діаметр d зразка та розрахункову довжину. Зразок разом із пристроєм для вимірювання кута повороту (рис. 7.2) закріплюється у зачіпках машини.

Заносять у журнал лабораторної роботи вихідні дані d , ℓ , E , μ .

Навантаження – крутний момент – прикладають однаковими частками ΔM_k . Після кожного ступеня навантаження знімають відліки на індикаторі.

Згідно з законом Гука кути закручення $\Delta\theta$, що відповідають однаковим приростам крутного моменту ΔM_k , будуть однакові. Граничне значення моменту, до якого дійсний закон Гука, дає момент $M_{кшц}$, що відповідає межі пропорційності. Отже,

$$\tau_{шц} = \frac{M_{кшц}}{W_\rho}. \quad (7.5)$$

Після досягнення $M_{к\text{ти}}$ індикатор знімають і продовжують збільшувати навантаження. Межу міцності у разі зсуву знаходять за значенням моменту $M_{к\text{max}}$, що відповідає руйнуванню зразка:

$$\tau_{\text{max}} = \frac{M_{к\text{max}}}{W_{\rho}}. \quad (7.6)$$

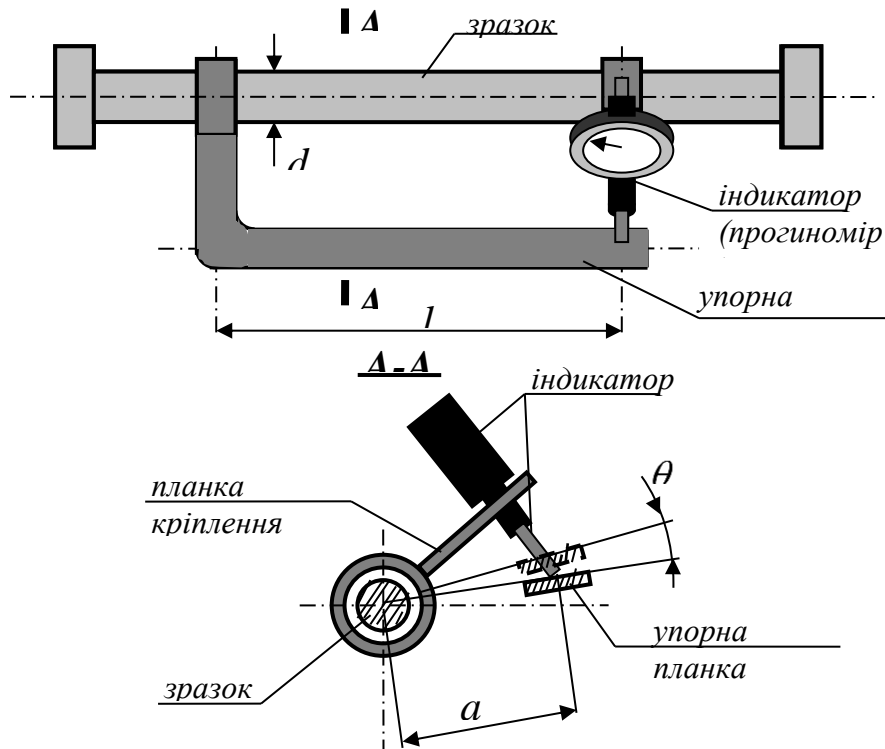


Рисунок 7.2 – Зразок із пристроєм для вимірювання кута повороту

Для визначення модуля пружності у разі зсуву обчислюють середній приріст показників індикатора у межах пружної роботи матеріалу зразка

$$\Delta_{ср} = \frac{\Sigma(\Delta\theta)}{n}, \quad (7.7)$$

де n – кількість ступенів навантаження до межі пропорційності.

За одержаними значеннями знаходять середній приріст кута закручення:

$$\Delta\theta = \frac{\Delta_{ср}}{a K} \quad (7.8)$$

та модуль пружності у разі зсуву

$$G = \frac{\Delta M_{к} \cdot \ell}{\Delta\theta \cdot I_{\rho}}. \quad (7.9)$$

Контрольні запитання

1. Яка мета лабораторної роботи?
2. Як визначають теоретичні дотичні напруження та кути закручення?
3. Де діють найбільші дотичні напруження в перерізі циліндричного стрижня під час його крутіння?
4. Як працює машина АМ-1?
5. Який принцип роботи прогиноміра (індикатора)?
6. Чи пов'язані між собою значення модулів пружності E та G ?

Лабораторна робота № 8 Поперечний згин сталеві балки з визначенням модуля пружності

Мета роботи: визначення модуля пружності першого роду (модуля Юнга) E матеріалу балки.

Випробувальна машина та прилади

Випробування здійснюють на універсальній випробувальній машині УВМ-50 (п.1.1).

Для вимірювання прогинів балки використовують індикатор годинникового типу (п. 1.9).

Зразок для випробувань

Випробування здійснюють на сталевій балці прямокутного перерізу $3 \text{ см} \times 10 \text{ см}$ довжиною 110 см (прольот у разі згину 100 см). Згин балки впроваджується в площині найбільшого моменту інерції перерізу. Схема завантаження балки та розміщення приладів наведена на рисунку 8.1.

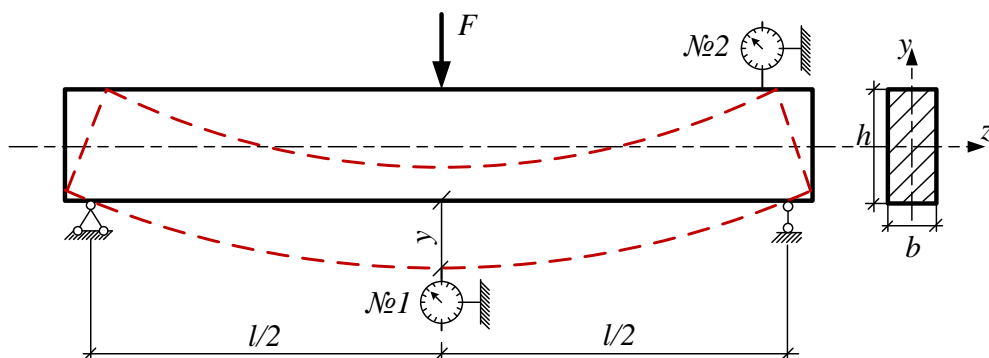


Рисунок 8.1 – Схема завантаження балки та розміщення приладів для визначення модуля пружності

Для вимірювання прогину середнього перерізу ставлять індикатор (прогиномір) № 1. Індикатор (прогиномір) № 2 вимірює осідання балки y_0 загалом за рахунок пружної деформації матеріалу балки та опори в місці їхнього контакту.

Основні відомості з теорії

Модуль пружності E_x характеризує опір матеріалу пружній деформації в разі розтягу. Його значення: для сталі – $2,1 \cdot 10^5$ МПа; міді – $1,0 \cdot 10^5$ МПа; чавуну – $(0,75 \dots 1,6) \cdot 10^5$ МПа; алюмінію – $0,675 \cdot 10^5$ МПа.

Модуль пружності експериментально можна визначити з діаграми напружень у разі розтягу (рис. 8.2) як тангенс кута нахилу її лінійної частини

$$E = \frac{\sigma_{mц}}{\varepsilon_{mц}} = \operatorname{tg} \alpha.$$

У цій роботі модуль пружності визначають із випробувань сталевієї балки на згин. У формулу для аналітичного визначення прогину в середині прольоту балки на двох шарнірних опорах входить модуль E :

$$y = \frac{F\ell^3}{48EI_z}. \quad (8.1)$$

Вимірявши експериментально значення цього прогину, можна обчислити

$$E = \frac{F\ell^3}{48 \cdot I_z y}. \quad (8.2)$$

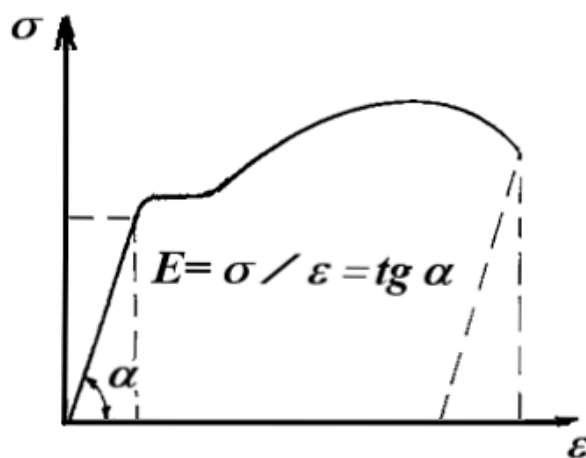


Рисунок 8.2 – Діаграма напружень у разі розтягу

Послідовність виконання роботи

Сталеву балку встановлюють на машині, закріплюють індикатори згідно з рисунком 8.1.

Увімкнувши машину, збільшують навантаження рівними частками по 5 кН (500 кгс) і фіксують відповідні відліки A_1 та A_2 на індикаторах.

Найбільше навантаження, до якого здійснюють випробування, обирають так, щоб нормальні напруження не перевищували межі пропорційності $\sigma_{пц}$.

Далі обчислюють середній приріст прогину, що відповідає одній частці навантаження ΔF , за такою формулою:

$$\Delta y = \frac{ср\Delta A_2 - ср\Delta A_1}{10} \cdot K, \quad (8.3)$$

де $ср\Delta A_1$ та $ср\Delta A_2$ – середні прирости відліків індикаторів № 1 та № 2;

K – ціна поділки індикатора.

Момент інерції перерізу балки відносно нейтральної осі

$$I_z = \frac{bh^3}{12} \text{ см.} \quad (8.4)$$

Модуль пружності визначають з формули прогину балки:

$$E = \frac{\Delta F \cdot \ell^3}{48I_z \cdot \Delta y}. \quad (8.5)$$

Контрольні запитання

1. Яка мета лабораторної роботи?
2. Для чого потрібно знати модуль пружності?
3. Як аналітично одержати формулу прогину балки?
4. Чому в роботі використовують два індикатори?

Лабораторна робота № 9

Визначення прогинів та кутів повороту балки прямокутного перерізу в разі плоского згину

Мета роботи: визначення шляхом експерименту величин прогинів $y(x)$ та кутів повороту $\theta(x)$ і порівняння їх із величинами, одержаними з теоретичних розрахунків.

Випробувальна машина та прилади

Випробування здійснюють на машині УВМ-50 (п. 1.1). Для визначення прогинів використовують прогиноміри (п. 1.9). Кути повороту вимірюють дзеркальним тензометром (п. 1.8).

Зразок для випробувань

Випробування здійснюють на сталевій балці прямокутного перерізу $3 \text{ см} \times 10 \text{ см}$ довжиною 110 см . Розрахунковий прогін балки в разі згину становить 100 см . Згин відбувається в площині її найбільшої жорсткості. Схема завантаження й розташування вимірювальних приладів наведена на рисунку 9.1.

Індикатор (прогиномір) (1) вимірює прогин у середині прольоту. Індикатор (2) потрібний для вимірювання осідання балки y_0 за рахунок пружної деформації матеріалу балки та опори в місці їхнього стиску. Кут повороту перерізу на опорі вимірюють дзеркальним тензометром, який містить дзеркальце на кронштейні (5), вимірювальну лінійку (3), зорову трубку (4).

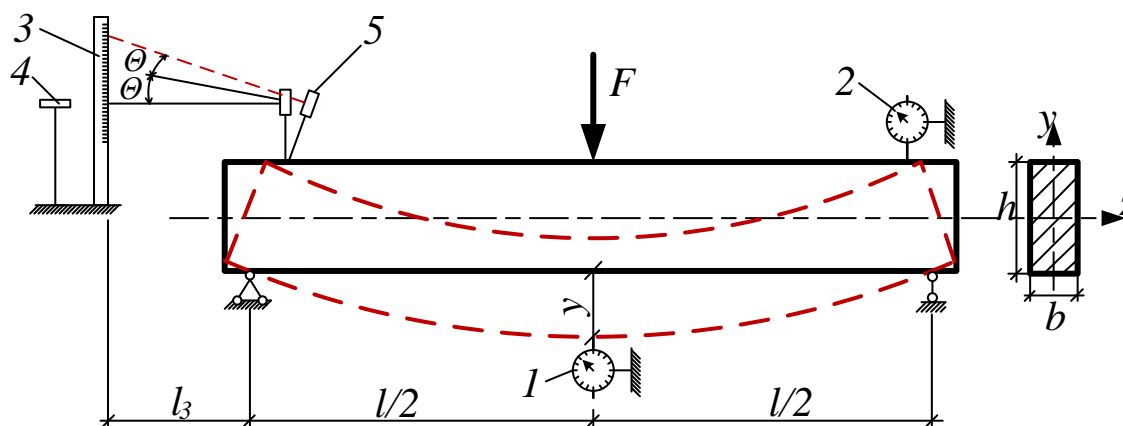


Рисунок 9.1 – Схема завантаження балки й розташування вимірювальних приладів

Основні відомості з теорії

Зігнуту під дією поперечного навантаження поздовжню вісь балки називають пружною лінією. Переміщення поперечного перерізу балки у разі згину характеризують дві величини: прогин $y(x)$ та кут повороту $\theta(x)$ (рис. 9.2).

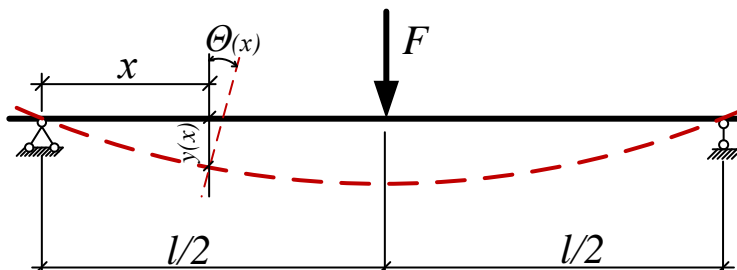


Рисунок 9.2 – Розрахункова схема балки для визначення прогину та кутів повороту

Теоретичні величини прогину й кута повороту перерізу балки можна знайти будь-якими відомими методами, наприклад, початкових параметрів або Мора. Вони відповідно складають:

– для середнього перерізу

$$y\left(\frac{\ell}{2}\right) = \frac{F\ell^3}{48EI_z}, \quad \theta\left(\frac{\ell}{2}\right) = 0; \quad (9.1)$$

– для перерізу на опорі

$$y(0) = 0, \quad \theta(0) = \frac{F\ell^2}{16EI_z}, \quad (9.2)$$

де E – модуль пружності першого роду (для сталі $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа);

$$I_z = \frac{bh^3}{12} \text{ – момент інерції перерізу відносно нейтральної осі.}$$

Послідовність виконання роботи

Дослідну балку встановлюють на машині, закріплюють відповідно до рисунка 9.2 індикатори (1), (2) і дзеркальний тензометр (3), (4), (5).

Прикладають початкове навантаження 5 кН, щоб вибрати нещільності в установці. Далі навантаження збільшують однаковими частками $\Delta F = 5$ кН. На кожному ступені навантаження знімають відліки на приладах.

Найбільше навантаження F_{max} під час випробувань обирають так, щоб матеріал балки не вийшов за межі пружної стадії роботи. Після досягнення цієї величини навантаження випробування закінчують.

Обчислення теоретичних значень прогину та кута повороту здійснюють для однієї частки навантаження:

$$y\left(\frac{\ell}{2}\right) = \frac{\Delta F \ell^3}{48EI_z}, \quad \theta(0) = \frac{\Delta F \ell^2}{16EI_z}. \quad (9.3)$$

Для визначення експериментальних величин переміщень обчислюють середні значення приростів відліків приладів: ср. ΔA_1 , ср. ΔA_2 , ср. ΔA_3 .

Експериментальні значення прогину середнього перерізу балки та кута повороту опорного перерізу, що відповідають одній частці навантаження

$$y_e\left(\frac{\ell}{2}\right) = \frac{cp\Delta A_1 - cp\Delta A_2}{100 \cdot 10}, \quad (9.4)$$

$$\theta_e(0) = \frac{cp\Delta A_3}{2 \cdot L \cdot 10}, \text{ рад}, \quad (9.5)$$

де L – відстань від вимірювальної лінійки дзеркального тензومتра до опори, де розташоване дзеркальце приладу.

Найбільший прогин всередині прольоту і найбільший кут повороту опорного перерізу, що досягається під час випробувань:

$$y_{max} = \frac{A_{1max} - A_{2max}}{100 \cdot 10}, \quad \theta_{max} = \frac{A_{3max}}{2 \cdot L \cdot 10}. \quad (9.6)$$

Контрольні запитання

1. Які величини характеризують переміщення перерізу балки?
2. Як одержати формули для визначення теоретичних переміщень балки?
3. Як залежать переміщення балки від пружних характеристик матеріалу?
4. Що таке жорсткість балки в разі згину і як на її величину впливають геометричні характеристики перерізу?
5. Які прилади використовують для експериментального визначення переміщень балки?

Лабораторна робота № 10 Випробування деревини на стиск

Мета роботи: вивчення властивостей деревини під час стискання її вздовж та впоперек волокон, визначення межі міцності.

Випробувальна машина

Експеримент здійснюють на випробувальній машині УВМ-50.

Зразок для випробувань

Для випробувань деревини на стиск у цій роботі беремо кубики з сосни розміром 50 мм × 50 мм × 50 мм.

Основні відомості з теорії

Однією з механічних характеристик деревини є опір її стисканню.

Величина опору деревини насамперед залежить від того, як спрямоване навантаження відносно напрямку волокон: уздовж (рис. 10.1) або впоперек (рис. 10.2).

Різниця в міцності пояснюється тим, що деревина фактично складається з пластинок різної міцності. Ці пластинки утворюються з весняних та осінніх шарів деревини різної щільності.

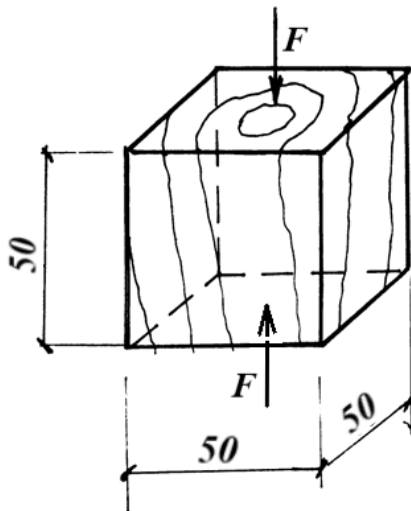


Рисунок 10.1 – Випробування уздовж волокон

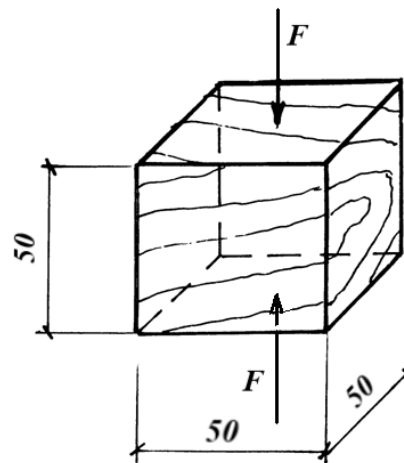


Рисунок 10.2 – Випробування впоперек волокон

Під час стискання вздовж волокон руйнування відбувається після вичерпання міцності твердих пластинок у разі порівняно невеликих деформацій.

Як свідчить діаграма стискання (рис. 10.3), між навантаженнями та деформацією спостерігається пропорційність майже до руйнування.

Випробування проводять до руйнування зразка. Максимальне зусилля визначають із діаграми стиску або відраховують на шкалі силівимірювача випробувальної машини.

Під час випробування і на стиск упоперек волокон (рис. 10.2) початок руйнування зразка помітити важко, оскільки при цьому стрілка манометра затримується на дуже короткий час. Далі деревина ущільнюється, її опір збільшується, навантаження зростає. Тому за максимальне навантаження беруть або силу F_{nc} , що відповідає межі пропорційності, або близьку до неї F_{max} .

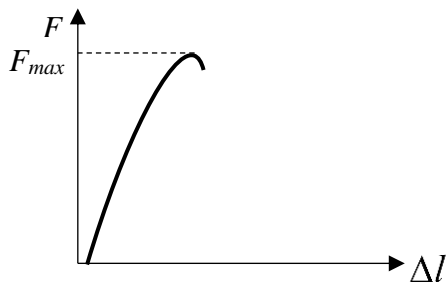


Рисунок 10.3 – Діаграма стиску уздовж волокон

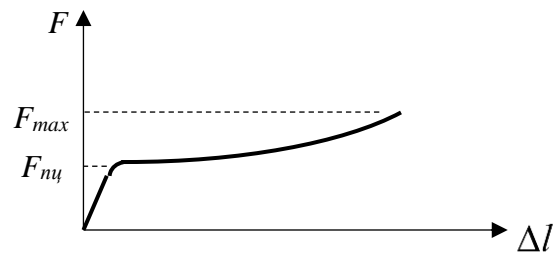


Рисунок 10.4 – Діаграма стиску впоперек волокон

Остання відповідає навантаженню в разі припинення експерименту, коли висота зразка під час стискання зменшується приблизно на 1/3 від свого початкового значення. Під час стискання впоперек волокон руйнуються м'які шари зразка.

У результаті випробувань визначається межа міцності деревини (сосна) під час стискання її вздовж та впоперек волокон за формулою (10.1)

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A_0}. \quad (10.1)$$

Межа міцності деревини під час стискання вздовж волокон приблизно в 10 разів більше межі міцності впоперек волокон.

Міцність деревини залежить від її вологості. З підвищенням вологості опір деревини зменшується.

Послідовність виконання роботи

Після вимірювання зразок розташовують між стискуючими площинами випробувальної машини.

Проводять стиск зразка зростаючим навантаженням, одночасно спостерігають за станом зразка.

Після руйнування зразка фіксують максимальне значення навантаження F_{max} , вивільняють зразок.

У журналі спостережень здійснюють обчислення меж міцності деревини в разі стиску її вздовж та впоперек волокон.

Контрольні запитання

1. Яка мета лабораторної роботи?
2. Які види випробувань проводять під час стискання деревини?
3. Як впливає вологість деревини на опір її стиску?
4. Коли переривають випробування деревини на стиск уздовж і впоперек волокон?
5. За якою формулою обчислюють межу міцності деревини у разі стиску?
6. Як відрізняються одна від одної діаграми стиску вздовж і впоперек волокон?
7. Яка з меж міцності деревини в разі стиску більше (вздовж чи впоперек волокон)?

Лабораторна робота № 11 Випробування деревини на скіл

Мета роботи: вивчення межі міцності деревини на скіл уздовж волокон.

Машина та прилади для випробувань

Випробування здійснюють на випробувальній машині УВМ-50 або ін. (п. 1.1, 1.2).

Зразок для випробувань

Для випробувань на скіл застосовують зразок, наведений на рисунку 11.1. Площина сколу зразка повинна бути дотична до річних кілець деревини. Зразок

закладають у спеціальний пристрій (рис. 11.2) так, щоб виступ зразка був розташований напроти леза.

Основні відомості з теорії

За певної величини тиску F_{max} опори випробувальної машини на лезо (3) (рис. 11.2), закріплене гвинтом (2), ставиться на виступ (1) зразка по площині $abcd$ (рис. 11.1). Межа міцності на скіл визначається за формулою

$$\sigma_c = \frac{F_{max}}{A_0}, \quad (11.1)$$

де A_0 – площа сколу зразка (площа $abcd$).

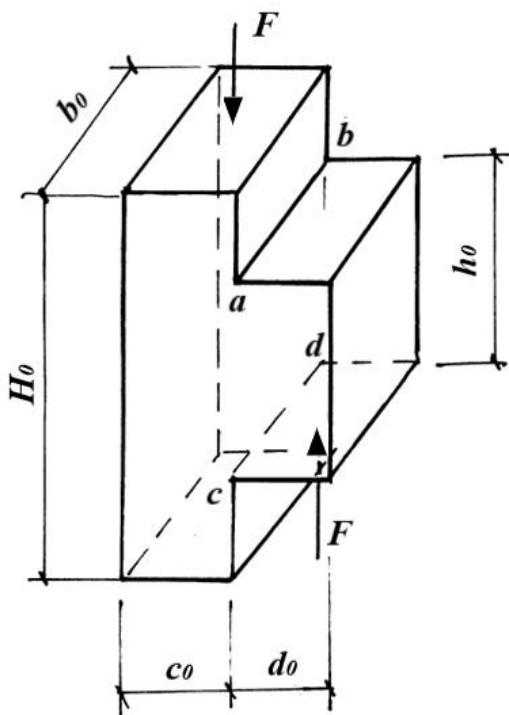


Рисунок 11.1 – Зразок для випробування на скіл

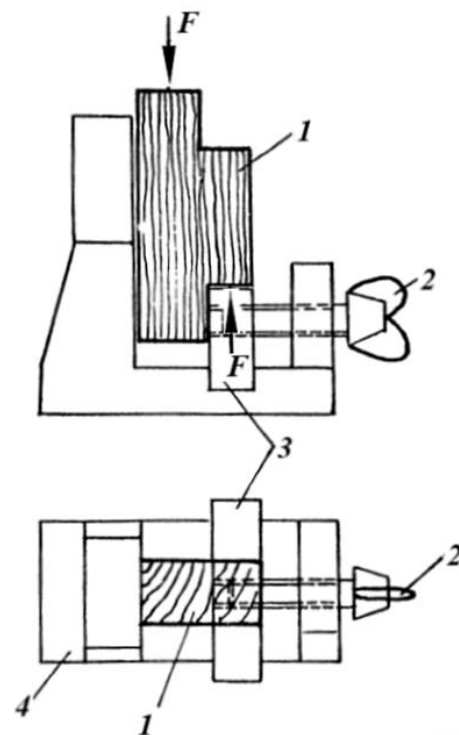


Рисунок 11.2 – Пристрій для випробування на скіл

Послідовність виконання роботи

Вимірявши розміри зразка, визначають площу сколу $A_0 = h_0 \cdot b_0$.

Пристрій зі зразком встановлюють між стискуючими площинами випробувальної машини.

Поступово збільшуючи тиск, визначають момент падіння значення навантаження. Найбільше досягнуте до цього падіння навантаження F_{max} відповідає моменту сколу зразка. За наведеною вище формулою визначають межу міцності σ_c деревини на скіл.

Контрольні запитання

1. Яка мета лабораторної роботи?
2. Як розташована площина сколу відносно річних кілець деревини?
3. Як визначають площу сколу зразка?
4. Як фіксується явище сколу деревини?
5. Як визначають межу міцності деревини на скіл?

Лабораторна робота № 12

Визначення механічних характеристик пластмаси під час розтягування

Мета роботи: ознайомлення з особливостями випробувань пластичних мас під час розтягування, визначення меж міцності та текучості, відносного подовження.

Випробувальна машина та прилади

Випробування пластмас проводимо на машинах, які під час розтягування забезпечують вимірювання навантаження з похибкою не більше 1 % від вимірюваної величини. Зачіпки машини повинні забезпечувати надійне закріплення зразка та збіг його поздовжньої осі з напрямком розтягу.

Для вимірювання деформацій використовують:

- прилади, що закріплюються безпосередньо на зразках: механічні, електричні та іншого типу тензometri (п. 1.6, 1.7);
- прилади з оптичною або іншою системою вимірювань, не закріплені на зразку.

Зразки для випробувань

Для випробувань застосовують зразки трьох типів (рис. 12.1). Зразки 1-го типу використовують для випробування пластмас із високим відносним подовженням у разі розриву (поліетилен, пластифікований полівініл-хлорид тощо).

На зразках 2-го типу випробують більшість термоактивних, термопластичних матеріалів.

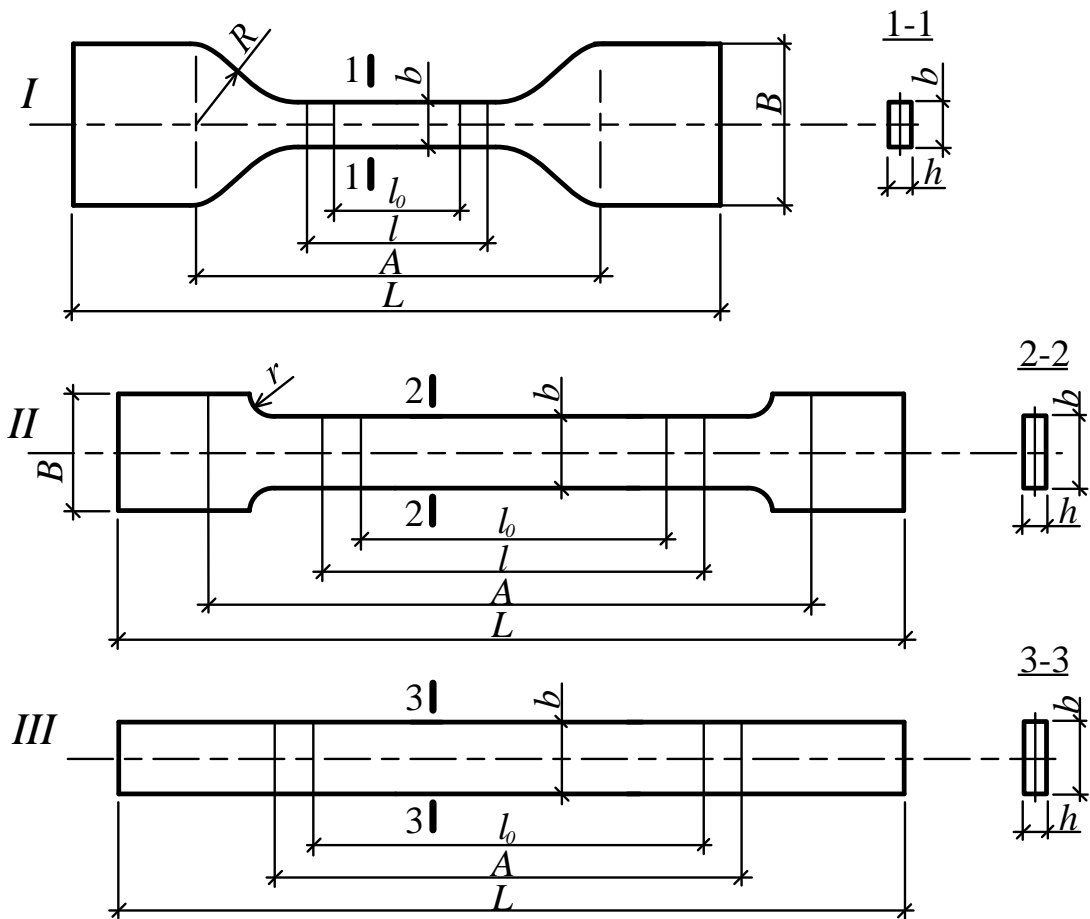


Рисунок 12.1 – Зразки для випробування пластмас на розтяг

Основні відомості з теорії

У різних видів пластмас діаграми розтягу можуть бути зовсім несхожими.

Випробування пластмас на розтяг проводять, визначаючи:

- 1) руйнуюче напруження σ_{max} та межу текучості σ_m ;
- 2) відносне подовження в разі розриву ε_p та відносне подовження ε_m ,

що відповідає межі текучості.

Послідовність виконання роботи

Навантаження, що визначає межу текучості, відповідає зростанню деформацій, що відбуваються без помітного збільшення навантаження або початку утворення на зразку місцевого звуження – шийки. Якщо матеріал не має межі текучості, визначають умовну межу текучості, що відповідає помітному зростанню деформацій.

Діаграма розтягу дає наочне уявлення про процес деформування.

За досягнення межі текучості тензометр необхідно зняти, щоб під час руйнування зразка не пошкодити його.

Після руйнування зразка обидві його частини виймають із машини, з'єднують їх і вимірюють залишкове подовження. Необхідно враховувати лише результати, одержані на зразках, що зруйнувалися в межах розрахункової частини.

За одержаними даними обчислюють межу міцності та текучості, відносно подовження зразка.

Контрольні запитання

1. Яка мета лабораторної роботи?
2. Який характер має діаграма розтягу пластмаси?
3. Які механічні характеристики визначають під час розтягування пластмаси?

Лабораторна робота № 13 Випробування пластмас на стиск

Мета роботи: визначення межі міцності пластмас у разі стиску.

Випробувальна машина та прилади

Випробування здійснюють на машині, яка забезпечує відлік навантаження з похибкою не більше 1 %, та дозволяє записувати діаграму стиску.

Зразки для випробувань

Для випробувань використовують зразки довільного перерізу, достатньо короткі, щоб виключити вплив можливого ексцентриситету прикладання навантаження.

Основні відомості з теорії

Основними характеристиками, що визначають роботу пластмас на стиск, є:

– руйнуюче напруження σ_{pc} , що відповідає навантаженню F_{pc} під час руйнування зразка або з появою тріщин;

– напруження σ_{25} , що відповідає навантаженню з досягненням збільшення площі перерізу зразка 25 % від початкової площі A_0 . Цей показник (умовна межа міцності) використовують для характеристики матеріалів, що не руйнуються під час стискання;

– відносна деформація ε_{pc} , що відповідає руйнуючому навантаженню F_{pc} :

$$\varepsilon_{p.c.} = \frac{\Delta l}{l_0}. \quad (13.1)$$

Для пластмас з різко окресленими в'язко-текучими властивостями визначають додаткові характеристики:

– межу текучості $\sigma_{m.c.}$ в разі стиску, що відповідає навантаженню $F_{m.c.}$, за якого починається зростання деформацій без збільшення навантаження;

– умовну (змішану) межу текучості $\sigma_{y.m.c.}$ в разі стиску, що відповідає навантаженню $F_{y.m.c.}$ (рис. 13.1);

– відносну деформацію стиску $\varepsilon_{m.c.}$, що вимірюється в разі досягнення навантаження, за якого розраховується межа текучості.

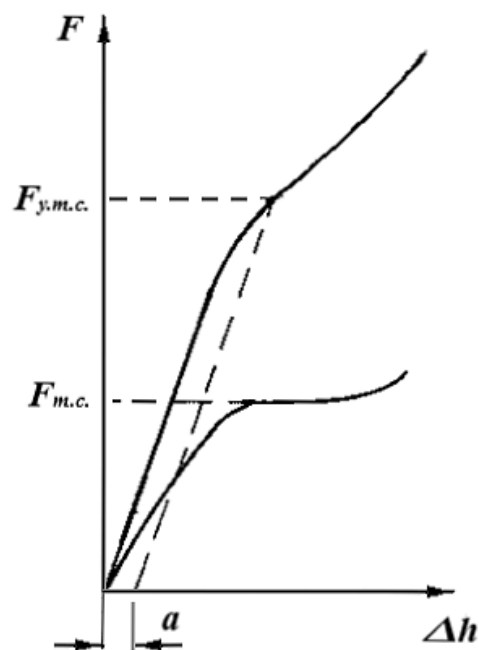


Рисунок 13.1 – Діаграма розтягу пластмаси

Послідовність виконання роботи

Випробування проводять із записом діаграми стиску. Для крихкої пластмаси на діаграмі за певного навантаження з'являються невеликі виступи, що свідчить про появу тріщин.

Після руйнування зразка машину зупиняють, виймають зразок та вимірюють його довжину.

Якщо зразок не зруйнований, значення руйнуючого навантаження i , відповідно, руйнуючого напруження визначають за діаграмою стиску для відносної деформації, що становить 25 % від первісної площі перерізу.

За даними випробувань обчислюють $\sigma_{p.c.}$, σ_{25} , ε_{pc} і заносять їх у журнал спостережень.

В обраному масштабі відображають діаграму стиску.

Контрольні запитання

1. Яка мета лабораторної роботи?
2. В яких координатах будують діаграму стику?
3. Які характеристики визначають у разі стиску пластмас?

Лабораторна робота № 14

Випробування сталі на стомленість у разі змінних за знаком напружень

Мета роботи: ознайомлення з методом визначення межі витривалості (стомленості) для сталі.

Випробувальна машина та прилади

Випробування матеріалів на витривалість проводять на спеціальних машинах, які дозволяють навантажувати зразки змінними навантаженнями з частотою циклу 2 000–3 000 за хвилину. Одна з таких машин наведена у п. 1.4.

Зразок для випробувань

Для визначення межі витривалості сталі використовують циліндричний зразок, наведений на рисунку 14.1.

На практиці для одержання вірогідних результатів випробування здійснюють для 6–10 однакових зразків.

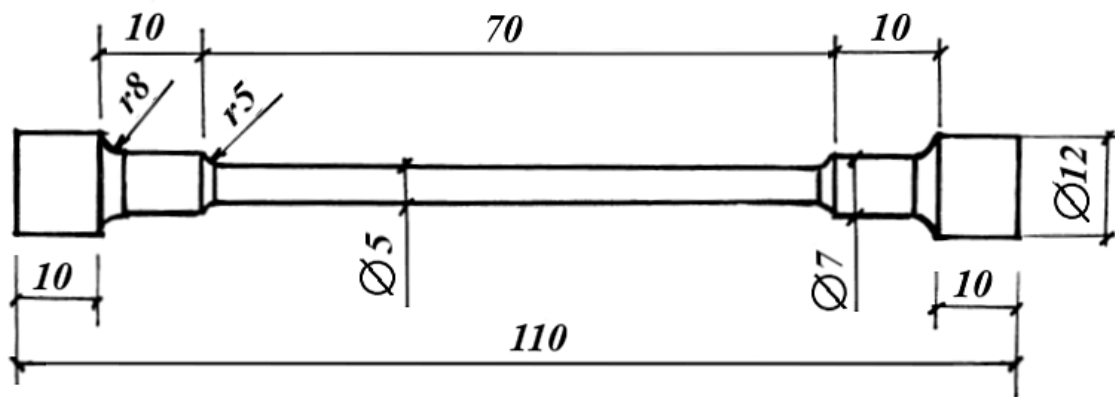


Рисунок 14.1 – Циліндричний зразок для випробувань

Основні відомості з теорії

Відомо, що деталі машин та споруд, які протягом значного часу зазнають змінного за знаком навантаження, руйнуються без помітних залишкових деформацій у разі напружень значно менших, ніж межа міцності матеріалу. Це явище називають стомленістю матеріалів.

Як показали експерименти, межа міцності, інші механічні характеристики та структура матеріалу в разі змінних напружень не змінюються. Багатьма експериментами встановлено, що в разі впливу протягом певного часу змінного за знаком напруження певної величини в перерізі елемента з'являється тріщина. Появу цієї тріщини необхідно чекати або в місцях найбільших напружень, або в місцях, де є дефекти матеріалу. У подальшому (в разі впливу змінних напружень) ця тріщина зростає і розповсюджується на все більшу частину перерізу. Пластичні деформації зосереджуються в місці тріщини, тому помітних залишкових деформацій на час руйнування не виявляється. Матеріал у тріщині стає гладким. Після того, як частина перерізу, ще не охоплена тріщиною, не може опиратися дії зовнішніх сил, елемент раптово руйнується. У перерізі руйнування виявляються дві зони: зовнішня – відшліфована і внутрішня – з крихким зломом.

За результатами статичних випробувань та випробувань на удар неможливо виявити здатність матеріалу опиратися тривалим змінним за знаком навантаженням. Для цього застосовують окремі випробування на стомленість, під

час яких визначають межу витривалості (стомленості) матеріалу. Такою межею називають найбільше за абсолютним значенням напруження σ_t , яке не спричиняє руйнування стомленості за необмеженої кількості циклів навантаження.

Послідовність виконання роботи

Перший зразок встановлюють у машині й забезпечують навантаження $2F$ (рис. 14.2) так, щоб напруження у розрахункових перерізах зразка (в зоні чистого згину CD) дорівнювало $0,5 \sigma_{max}$.

Значення сили F при цьому таке:

$$F = \frac{0,5\sigma_{max} \cdot W}{a}, \quad (14.1)$$

де σ_{max} – межа міцності матеріалу;

W – момент опору перерізу зразка;

a – відстань від опор A та B до точок прикладання навантаження: відповідно точок C та D .

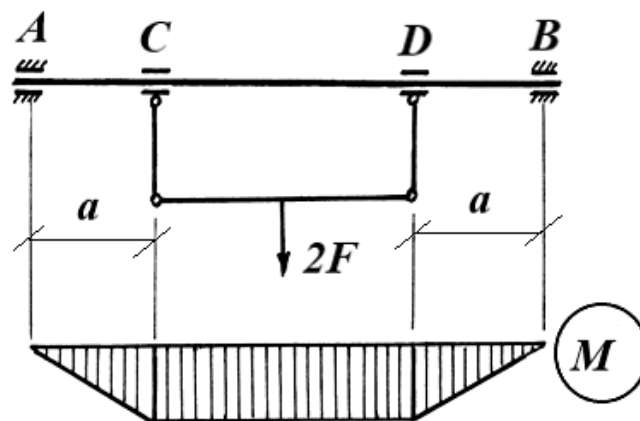


Рисунок 14.2 – Зразок в умовах чистого згину

Під час обертання зразка кожна точка його перерізу змінює положення відносно площини навантаження, отже, величина напруження в ній змінюється. Характер зміни напруження, що починає рух із нижнього положення, ілюструється графіком на рисунку 14.3. Такий цикл зміни напруження називається симетричним.

Вмикають машину, яка працює до руйнування зразка. Кількість циклів, які витримав зразок, фіксуються лічильником.

Далі випробування здійснюють на другому зразку за зменшеного навантаження. Зрозуміло, що в разі меншого навантаження кількість циклів до руйнування збільшиться.

Випробування продовжують на інших зразках, поступово зменшуючи навантаження, і закінчують тоді, коли зразок буде витримувати до руйнування кількість циклів порядку 10^7 .

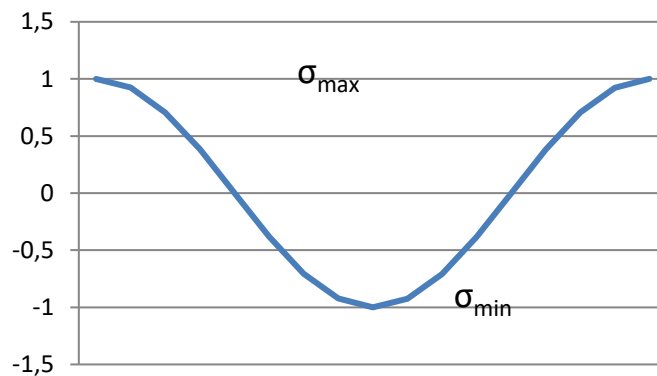


Рисунок 14.3 – Діаграма зміни напруження

Вважається, якщо матеріал не зруйнувався за такої кількості циклів, то він може витримати нескінченно велику кількість циклів. Отже, відповідне напруження можна вважати межею витривалості (стомленості) σ_{-1} матеріалу.

Результати випробувань подають у вигляді діаграми (рис. 14.4), на якій вздовж ординати відкладають напруження, а вздовж абсциси – відповідну кількість витриманих циклів.

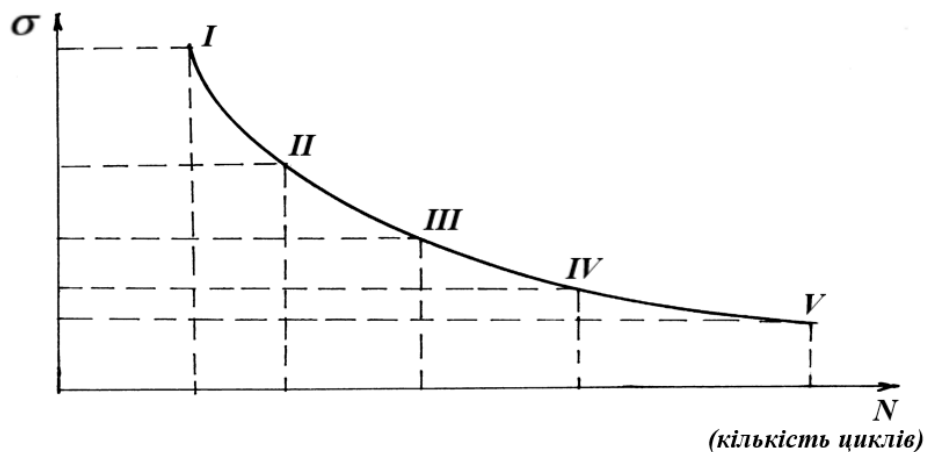


Рисунок 14.4 – Результати випробувань

Крива на цій діаграмі називається кривою Велера.

Випробування на опір із визначенням межі витривалості зазвичай потребує багато часу і може тривати декілька діб.

У цій роботі використовується прискорений метод визначення межі витривалості. Згідно з ним межа витривалості визначається за даними двох випробувань на основі такої залежності:

$$\sigma_{-1} = ((N_1^2 \sigma_1^2 - N_2^2 \sigma_2^2) / (N_1^2 - N_2^2))^{1/2}, \quad (14.2)$$

де N_1 – кількість циклів, що витримав до руйнування зразок із напруженням σ_1 ;

N_2 – кількість циклів, що витримав до руйнування зразок із напруженням σ_2 .

Отже, за цією методикою достатньо випробувати лише два зразки в разі двох різних навантажень.

Контрольні запитання

1. Яка мета лабораторної роботи?
2. Як влаштована машина для випробувань на витривалість?
3. Який зразок використовують для випробувань?
4. Що називається межею витривалості (стомленості) матеріалу?
5. Як визначити напруження від прикладеного на машині навантаження?
6. В якій послідовності виконують випробування?
7. Що таке крива Велера? Як за цією кривою визначити межу витривалості матеріалу?

Лабораторна робота № 15

Визначення питомої ударної в'язкості сталі

Мета роботи: визначення питомої ударної в'язкості сталі.

Випробувальна машина та прилади

Випробування на ударну в'язкість здійснюють на маятниковому копрі (п. 1.5).

Зразок для випробувань

Для випробувань використовують зразки типів I–V (рис. 15.1). Їх виконують із надрізами, щоб фіксувати місце перелому під час випробування. Зразки I–III

відрізняються глибиною прорізи, зразок IV має іншу форму прорізи, а зразок V зменшену ширину перерізу.

Зразки вирізають на металорізальних верстатах за умов, які виключають наклеп та нагрів, щоб не змінити властивостей металу. Остаточну обробку здійснюють на металошліфувальних верстатах. Надріз здійснюють фрезеруванням або абразивним каменем.

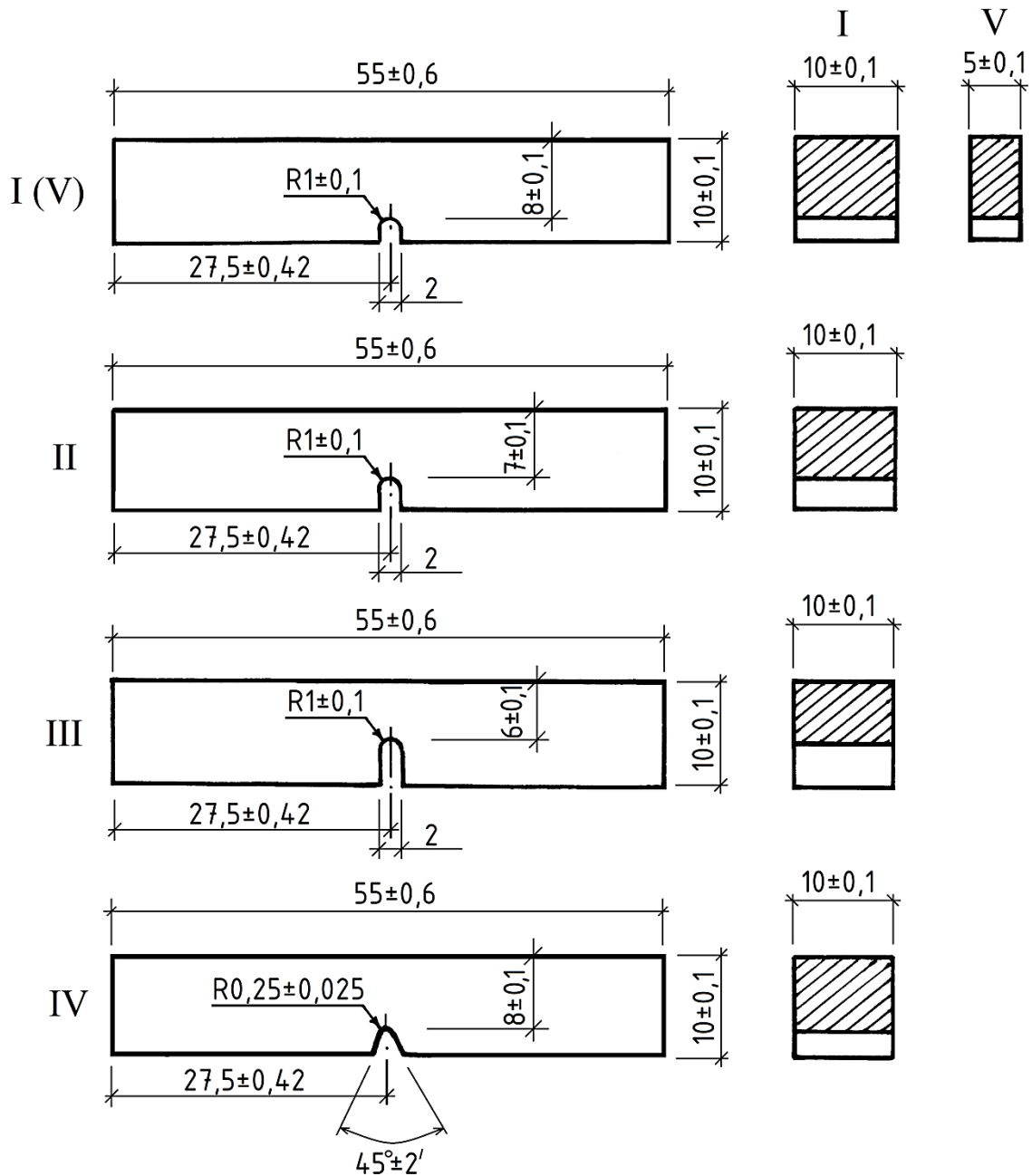


Рисунок 15.1 – Зразки для випробувань I–V типів

Основні відомості з теорії

Ударна в'язкість – це складна комплексна характеристика, яка залежить від низки більш простих механічних властивостей. Останні визначають під час статичних випробувань, тобто під дією дуже повільно зростаючих навантажень, отже, вони не можуть характеризувати здатність матеріалу протистояти ударному навантаженню. Випробування на ударну в'язкість належать до динамічних видів випробувань, які застосовують для того, щоб оцінити здатність матеріалів протистояти ударним навантаженням та виявити їхню схильність до крихкого руйнування.

Ударна в'язкість характеризується питомою роботою (15.1), витраченою на руйнування зразка:

$$d = \frac{W}{A}, \quad (15.1)$$

де W – робота, витрачена на руйнування зразка;

A – площа перерізу зразка у місці надрізу.

Послідовність виконання роботи

Перед початком випробувань вимірюють зразок і записують величини b – ширину та h – висоту перерізу в місці надрізу.

Зразок кладуть горизонтально в спеціальний шаблон, який забезпечує розташування надрізу точно посередині прольоту (рис. 15.2).

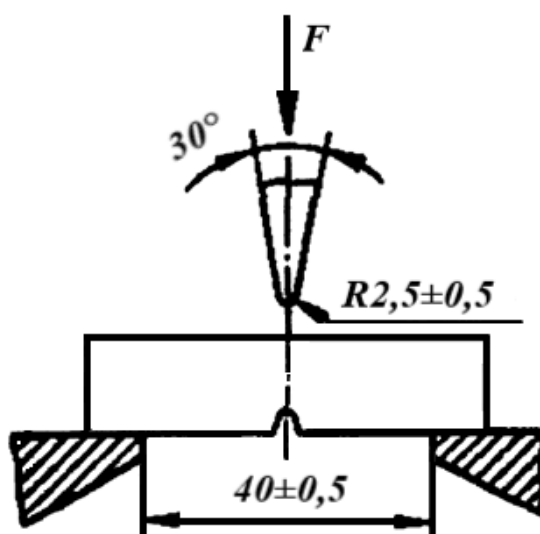


Рисунок 15.2 – Положення зразка під час випробувань

Удар здійснюють із боку, протилежного надрізу, в площині, перпендикулярній до поздовжньої осі зразка. На шкалі копра знімають відлік, який дає величину роботи W , витрачену на руйнування зразка.

Обчисливши площу перерізу зразка $A = b \cdot h$, визначають питому роботу руйнування зразка – питому ударну в'язкість.

Контрольні запитання

1. У яких випадках обґрунтованим є застосування динамічних випробувань?
2. Яка розмірність у ударної в'язкості?
3. Що називається ударною в'язкістю?
4. Як визначається енергія, яка витрачається на руйнування зразка, у даній лабораторній роботі?
5. Для чого роблять надрізи на зразках?
6. Від яких параметрів залежить ударна в'язкість?
7. Яку здатність матеріалу характеризує ударна в'язкість?

Лабораторна робота № 16

Визначення деформацій циліндричної гвинтової пружини під час стискання

Мета роботи: експериментальне визначення осідання циліндричної сталеві пружини.

Випробувальна машина та прилади

Випробування здійснюють на машині УВМ-50 (п. 1.1). Для визначення осідання пружини використовують індикатори годинникового типу (п. 1.9).

Зразок для випробувань

Для випробувань використовують циліндричну гвинтову сталеву пружину (рис. 16.2). Її розміщують як показано на рисунку 16.1 між верхньою нерухомою (1) і нижньою рухомою (2) опорами. Оскільки діаметр пружини дещо більший за

діаметр опор, між пружиною та опорами ставлять сталеві пластини (3). Під час роботи машини нижня опора піднімається і спричиняє стискання пружини. Індикатори (4) закріплюють на нерухомих стояках (5) машини, розташованих на діаметрально протилежних боках пружини. Шток (6) кожного індикатора спирається на нижню пластину (3). Отже, показники індикаторів дають осідання пружини.

Щоб одержані в роботі результати були близькі до реальних необхідно мати не менше двох індикаторів. Це пов'язано з необхідністю виключення впливу похибок устаткування та зразка: відхилення осі пружини від осей опор (1) та (2); відхилення опорних пластин від горизонталі; наявність під час випробування не тільки стискання, але й згину пружини.

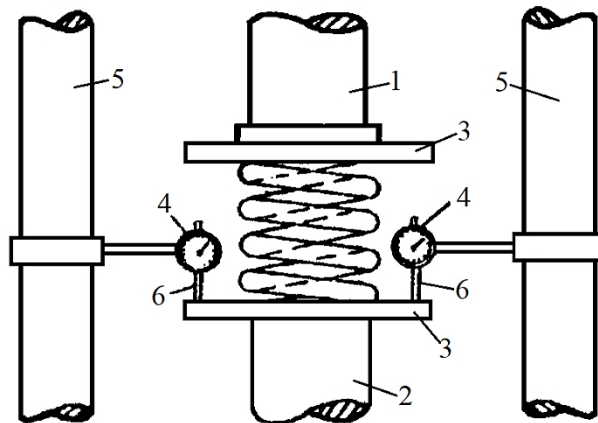


Рисунок 16.1 – Схема випробування циліндричної гвинтової сталеві пружини

Основні відомості з теорії

Під час стискання пружини зменшується відстань між сусідніми витками i , отже, її довжина. Зміна довжини пружини під час стискання $\lambda = \ell - \ell_1$ називається осіданням пружини: ℓ – первинна довжина пружини; ℓ_1 – довжина стиснутої пружини.

У техніці переважно застосовують циліндричні пружини з малим кроком гвинта. Для таких пружин осідання зумовлене переважно деформаціями кручення. Теоретичне визначення осідання обчислюють за формулою

$$\lambda = \frac{8FD^3n}{Gd^4}, \quad (16.1)$$

де F – стискаюча сила;

D – середній діаметр пружини;

n – кількість витків пружини;

G – модуль пружності матеріалу пружини у разі зсуву;

d – діаметр стрижня пружини.

Геометричні розміри пружини наведені на рисунку 16.2.

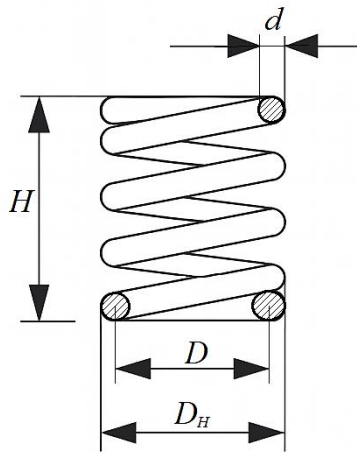


Рисунок 16.2 – Геометричні розміри пружини

Формула для осідання пружини одержана в курсі опору матеріалів із використанням низки гіпотез, тому експеримент дає можливість перевірити її придатність для практичних розрахунків.

Необхідно зазначити, що теоретична формула для осідання пружини дійсна лише за умови пружної стадії роботи матеріалу. Максимальне навантаження в разі випробувань повинно обиратися з урахуванням цієї обставини.

Послідовність виконання роботи

Вимірявши зовнішній діаметр D_n пружини і діаметр її стрижня, визначають середній діаметр $D = D_n - d$. Модуль пружності матеріалу пружини в разі зсуву $G = 0,8 \cdot 10^5$ МПа.

Розрахункову кількість витків пружини n визначають з урахуванням того, що у пружин, які працюють на стиск, крайні витки підтиснуті й зашліфовані з торців для забезпечення опорних площин. Вважають, що в роботі не залученим є

приблизно 1,5 витка. У пружині, що використовується в лабораторній роботі, повна кількість витків (з урахуванням підтиснутих) – 4,5, отже,

$$n = 4,5 - 1,5 = 3.$$

Випробування починають з деякого початкового навантаження, наприклад, 5 кН, за якого записують перші відліки індикаторів. Далі навантаження збільшують однаковими частками, наприклад $\Delta F = 5$ кН, кожен раз знімаючи відліки на приладах. Випробування припиняють із досягненням навантаження $F_{max} = 12,5 \dots 15,0$ кН.

Обчисливши суми відліків індикаторів та прирости сум, знаходять середній приріст

$$\Delta(A_1 + A_2)_{cp} = \frac{\Sigma \Delta(A_1 + A_2)}{m},$$

де m – кількість приростів.

Експериментальна величина осідання пружини, що відповідає одній частці навантаження ΔF

$$\lambda_e = \frac{0,5 \Delta(A_1 + A_2)_{cp} \cdot K}{10}, \text{ см}, \quad (16.2)$$

де K – ціна поділки шкали індикатора, мм.

Визначивши відповідне теоретичне значення осідання

$$\lambda_m = \frac{8 \Delta F D^3 n}{G d^4}, \quad (16.3)$$

обчислюють розбіжність його з експериментальним за такою формулою:

$$\varepsilon = \frac{|\lambda_e - \lambda_m|}{\lambda_m} \cdot 100 \%. \quad (16.4)$$

Контрольні запитання

1. Яка мета лабораторної роботи?
2. Якими деформаціями стрижня пружини обумовлене її осідання?
3. Як визначається експериментальне осідання пружини?
4. Як визначається розрахункова кількість витків пружини?
5. Чим можна обумовити розбіжність між теоретичним та експериментальним значенням осідання?

Лабораторна робота № 17
Визначення критичної сили стиснутого шарнірно закріпленого на кінцях стрижня

Мета роботи: експериментальне визначення критичної сили для стиснутого шарнірно закріпленого на кінцях стрижня і порівняння одержаного значення з теоретичним.

Випробувальна машина та прилади

Випробування здійснюють на випробувальній машині УВМ-50 (п. 1.1).

Зразок для випробувань

Для випробувань використовують сталевий стрижень колового перерізу $d = 1,2$ см, $l = 30$ см. Зразок (1) на рисунку 17.1 розміщують між верхньою нерухомою (2) і нижньою рухомою (3) опорами машини. Між зразком та опорами вкладають сталеві пластини (4). У цих пластинах, а також у торцях зразка зроблені заглиблення, в які вкладають кульки (5). Наявність кульок забезпечує закріплення кінців зразка, близьке до шарнірного.

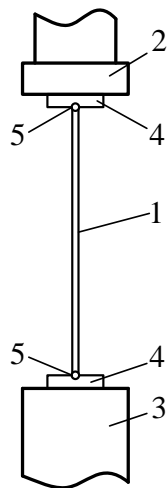


Рисунок 17.1 – Вид зверху закріплення зразка для випробувань

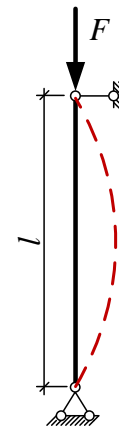


Рисунок 17.2 – Схема закріплення вертикального стрижня

Основні відомості з теорії

Стан рівноваги прямого стиснутого стрижня (рис. 17.2) за деякого значення навантаження $F_{кр}$, що називається критичним, стає нестійким. Втрата стійкості виражається в тому, що первісно прямий стрижень викривляється (рис. 17.1).

Теоретична формула для критичної сили шарнірно закріпленого стрижня, одержана Ейлером, має вигляд:

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 EI_{min}}{\ell^2}, \quad (17.1)$$

де E – модуль пружності матеріалу;

ℓ – довжина стрижня;

I_{min} – мінімальний момент інерції перерізу стержня.

Для круглого перерізу

$$I_{min} = \frac{\pi d^4}{64}. \quad (17.2)$$

Формула Ейлера придатна за умови, що напруження в перерізах із втратою стійкості не перевищують межі пропорційності. Ця умова виконується у разі значень гнучкості λ стрижня не менших, ніж деяке граничне значення λ_{np}

$$\lambda \geq \lambda_{np}.$$

Граничне значення гнучкості залежить від матеріалу стрижня

$$\lambda_{np} = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_{mц}}}. \quad (17.3)$$

і для сталі ст. 3 становить 100.

Гнучкість шарнірно закріпленого стрижня обчислюють за формулою

$$\lambda = \frac{\ell}{i_{min}}, \quad (17.4)$$

де $i_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}}$ – мінімальний радіус інерції перерізу (для кола він становить

$$i_{min} = \frac{d}{4}).$$

Формула Ейлера дійсна для ідеального стрижня. На практиці завжди маємо так звані початкові недовершеності: відхилення осі стрижня від ідеальної прямої, відхилення в прикладанні стискувальної сили, відхилення у рівномірності розподілу

пружних якостей матеріалу стрижня тощо. Під час практичних розрахунків ці недовершеності вважаються малими, і їхнім впливом на значення критичної сили нехтують.

Послідовність виконання роботи

На початку роботи вимірюють зразок: довжину – ℓ та діаметр перерізу – d . Модуль пружності матеріалу (сталь) $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа.

Далі обчислюють момент інерції I_{min} перерізу та його радіус інерції i_{min} . Знайшовши гнучкість λ стрижня, переконуються в тому, що вона не менша, ніж гранична пружність $\lambda_{np} = 100$. Якщо ця умова виконана, дійсна формула Ейлера, отже, користуючись нею, обчислюють критичну силу $F_{кр}$.

Випробування починають, поступово збільшуючи навантаження F і постійно слідкуючи за його значенням. Стійкість стрижня вичерпується раптово, цьому моменту відповідає зупинка зростання навантаження.

Найбільше навантаження F_{max} , досягнуте під час випробувань, і є експериментальною критичною силою.

Розбіжність між експериментальним та теоретичним значеннями критичної сили обчислюють у відсотках:

$$\varepsilon = \left| \frac{F_{max} - F_{кр}}{F_{кр}} \right| \cdot 100 \% . \quad (17.5)$$

Контрольні запитання

1. Що таке втрата стійкості прямого стиснутого стрижня?
2. Що таке критичне навантаження (сила)?
3. Як обчислюють теоретичне значення критичної сили?
4. В яких межах дійсна формула Ейлера?
5. Від чого залежить значення граничної гнучкості стрижня?
6. Як здійснюється обпирання зразка під час випробування?
7. Як визначається експериментальне значення критичного навантаження?

8. Що таке початкові недовершеності? Як вони впливають на значення критичної сили?

Лабораторна робота № 18 **Визначення напружень у разі позацентрового стиску стрижня**

Мета роботи: експериментальна перевірка теоретичної формули для нормальних напружень у разі позацентрового стиску.

Випробувальна машина та прилади

Випробування здійснюють на машині УВМ-50 (п. 1.1). Для визначення деформацій використовують важільні тензометри (п. 1.6).

Зразок для випробувань

У роботі використовують зразок круглого поперечного перерізу $d = 80$ мм; $L = 200$ см. Розміщення зразка та приладів показано на рисунку 18.1.

Зразок (1) розміщують між верхньою нерухомою (2) і нижньою рухомою (3) опорами. Для здійснення позацентрового стиску між торцями зразка та опорами ставлять сталеві пластини (4). Ці пластини, а також торці зразка на деякій відстані від центра мають заглиблення, в які вкладають сталеві кульки (5). Отже, навантаження на зразок передається через кульки, тобто позацентрово. На зразок в середній його частині ставлять два тензометри (6) в площині, що проходить через кульки та вісь зразка. Тензометри розташовані на діаметрально протилежних боках зразка (рис. 18.1).

Основні відомості з теорії

Позацентровим називають стиск стрижня силами, які прикладені не в центрі ваги його поперечних перерізів. Позацентровий стиск зводиться до комбінації центрального стиску та згину в двох головних площинах. Через наявність згину нормальні напруження розподіляються за перерізом стрижня нерівномірно. Теоретична формула для нормальних напружень у разі позацентрового стиску має вигляд

$$\sigma = -\frac{F}{A} \left(1 + \frac{y_F y}{i_z^2} + \frac{z_F z}{i_y^2} \right), \quad (18.1)$$

де A – площа поперечного перерізу стрижня;

y_F, z_F – координати точки прикладання сили F ;

y, z – координати точки, в якій обчислюють напруження;

$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}}, i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$ – радіуси інерції перерізу відносно головних осей z та y ;

I_z, I_y – моменти інерції поперечного перерізу відносно осей z та y .

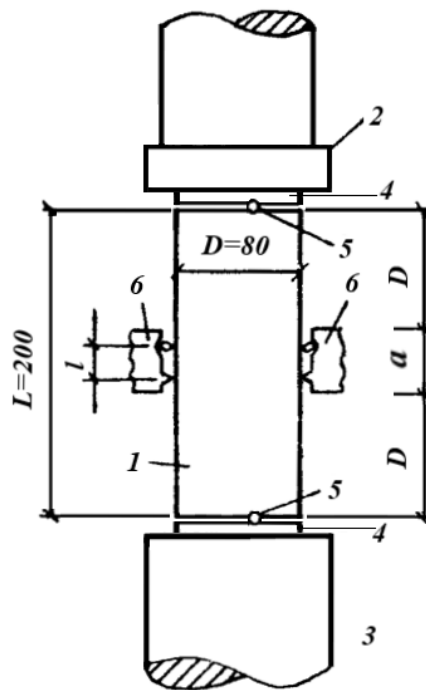


Рисунок 18.1 – Схема установки позacentрового навантаження вертикального стрижня

У роботі використовують стрижень круглого перерізу, тому одну із двох центральних осей можна провести через точку прикладання сили (рис. 18.2).

При цьому формула для напружень спрощується, оскільки $y_F = 0$. Крім того, для кола

$$I_y = I_z = \frac{\pi d^4}{64}; \quad A = \frac{\pi d^2}{4}; \quad (18.2)$$

$$i_y = i_z = \sqrt{\frac{\pi d^4 \cdot 4}{64 \cdot \pi d^2}} = \frac{d}{4}. \quad (18.3)$$

Необхідно відзначити, що формула (18.1) непридатна для визначення напружень кінців стрижня. Тут характер розподілу напружень за перерізом далекий від лінійного, що відповідає формулі (18.1). Згідно з принципом Сен-Венана ця формула дійсна лише для перерізів, достатньо віддалених від кінців.

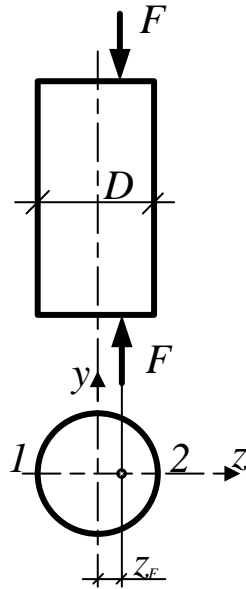


Рисунок 18.2 – Схема позацентрального навантаження вертикального стрижня

Ця відстань повинна бути не менше характерного розміру перерізу (у цій роботі діаметра перерізу).

Крім того, формула дійсна лише за умов роботи матеріалу стрижня в межах пропорційності. Тому під час випробувань потрібне обмеження стискуючого навантаження.

Послідовність виконання роботи

На початку роботи вимірюють діаметр d зразка та координати z_F точки прикладання стискуючої сили. Обчислюють площу перерізу A та радіус інерції i_y . Модуль пружності матеріалу зразка (сталь) $E = 2 \cdot 10^5$ МПа = $2 \cdot 10^4$ кН/см². Визначають ціну поділки c та базу ℓ тензометрів.

Випробування починають із деякого початкового навантаження, наприклад, 10 кН, за якого знімають перші відліки приладів. Далі навантаження збільшують однаковими частками, наприклад $\Delta F = 30$ кН, знімаючи на кожному ступені

навантаження відповідні відліки тензometrів. Випробування зупиняють у разі навантаження 100–130 кН.

Відповідно до формули (18.1) напруження у разі останнього навантаження становить 40–52 МПа, тобто набагато менше межі пропорційності сталі (200–300 МПа).

Знаходять середній приріст відліків

$$\Delta A_{1cp} = \frac{\Sigma \Delta A_1}{m}; \quad \Delta A_{2cp} = \frac{\Sigma \Delta A_2}{m}, \quad (18.4)$$

де m – кількість приростів.

За цими значеннями обчислюють відносну деформацію, що відповідає одній частці навантаження ΔF для першого й другого тензometrів:

$$\varepsilon_{1e} = \frac{\Delta A_{1cp} \cdot c}{\ell}; \quad \varepsilon_{2e} = \frac{\Delta A_{2cp} \cdot c}{\ell}, \quad (18.5)$$

і, далі, напруження в точках (1) та (2) для однієї частки навантаження

$$\sigma_{1e} = E \cdot \varepsilon_{1e} = E \frac{\Delta A_{1cp} \cdot c}{\ell}, \quad (18.6)$$

$$\sigma_{2e} = E \cdot \varepsilon_{2e} = E \frac{\Delta A_{2cp} \cdot c}{\ell}. \quad (18.7)$$

Теоретичні значення напружень в точках (1) та (2) для однієї частки навантаження

$$\sigma_{1m} = -\frac{\Delta F}{A} \left(1 + \frac{z_F \cdot z_1}{i_y^2} \right), \quad (18.8)$$

$$\sigma_{2m} = -\frac{\Delta F}{A} \left(1 + \frac{z_F \cdot z_2}{i_y^2} \right). \quad (18.9)$$

Порівнюють експериментальні й теоретичні значення напружень. Для обраного в цій роботі значення $z_F = \frac{d}{8}$ напруження в точці (1) повинно дорівнювати нулю. Для точки (2) визначають розбіжність між експериментальним й теоретичним значеннями:

$$\varepsilon = \left| \frac{\sigma_{2m} - \sigma_{2e}}{\sigma_{2m}} \right| \cdot 100\%. \quad (18.10)$$

Контрольні запитання

1. Що таке позацентровий стиск?
2. Як розподіляються за перерізом нормальні напруження в разі позацентрального стиску?
3. Що таке ядро перерізу?
4. Як обчислюють теоретичні напруження у разі позацентрального стиску?
5. Чому під час випробувань тензometri треба розташовувати не ближче, ніж d від кінців зразка?
6. Якими приладами вимірюють деформації зразка?
7. Як здійснюється позацентровий стиск у роботі?
8. Як обчислюють експериментальні напруження?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шутенко Л. М. Опір матеріалів : навч.-метод. посіб. до лабораторних робіт / Л. М. Шутенко, В. П. Пустовойтов, М. А Засядько. – Харків : ХНАМГ, 2004. – 79 с.
2. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисциплін «Опір матеріалів» і «Опір матеріалів та будівельна механіка» (для студентів 1–3 курсів усіх форм навчання напрямів підготовки 6.060101 – Будівництво, 6.060103 – Гідротехніка (Водні ресурси) / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва ; уклад. : Л. М. Шутенко, Л. С. Андрієвська, М. А. Засядько. – Харків : ХНАМГ, 2010. – 79 с.
3. Методичні вказівки до лабораторних робіт з навчальних дисциплін «Опір матеріалів», «Технічна механіка» і «Прикладна механіка» (для студентів 2–3 курсів денної і заочної форм навчання бакалаврів за напрямками підготовки 6.060101 – Будівництво, 6.060105 – Гідротехніка (Водні ресурси), 6.170202 – Охорона праці, 6.050702 – Електромеханіка) [Електрон. ресурс] / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : М. А. Засядько, Н. В. Середа, В. П. Шпачук, О. М. Кузнецов. – Електрон. текст. дані. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 61 с. – Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/46245/>, вільний (дата звернення: 27.03.2026). – Назва з екрана.

ДОДАТОК А
Журнал лабораторних робіт

Лабораторна робота № 1

Випробування сталевого нормального зразка на розтяг

Мета роботи: _____

Випробування виконуються на машині: _____

Схема випробувальної машини

Вихідні дані

1. Рисунок зразка та схема сил, що діють на нього під час випробування:
2. Характеристики зразка до випробування:
 - діаметр $d_0 =$ _____ см;
 - розрахункова довжина $l_0 =$ _____ см;
 - площа поперечного перерізу $A_0 =$ _____ см².

Результати випробування

1. Рисунок зразка після випробування:
2. Характеристики зразка після випробування:
 - діаметр шийки $d_{ш} =$ _____ см;
 - діаметр зразка $d_1 =$ _____ см;
 - довжина розрахункової частини $l_1 =$ _____ см;
 - площа перерізу в місці розриву (шийки) $A_1 =$ _____ см².
3. Виміряні навантаження, що відповідають:
 - межі текучості $F_m =$ _____ кг;
 - межі міцності $F_{max} =$ _____ кг;
 - моменту руйнування $F_p =$ _____ кг.
4. Величини, що характеризують пластичність матеріалу:
 - абсолютне залишкове подовження $\Delta l =$ _____ см;
 - відносне залишкове подовження $\varepsilon =$ _____ %;
 - відносне залишкове звуження $\psi =$ _____ %.
5. Величини, які характеризують міцність матеріалу:
 - межа текучості $\sigma_m =$ _____ кг/см²;

– межа міцності

$$\sigma_{\max} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кг/см}^2;$$

– дійсне напруження в разі розриву

$$\sigma_p = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кг/см}^2.$$

б. Інші механічні характеристики:

– масштаб сил (ординат)

$$m = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кг/см};$$

– масштаб подовжень (абсцис)

$$n = \underline{\hspace{2cm}} \text{ см/см};$$

– площа діаграми розтягу

$$S = \underline{\hspace{2cm}} \text{ см}^2;$$

– повна робота, витрачена на розрив

$$W = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кгсм};$$

– питома робота деформації

$$w = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кгсм/см}^3.$$

Діаграма розтягу та діаграма напружень матеріалу:

Випробувана сталь належить до марки _____

Роботу прийняв « _____ » _____ р. Керівник _____

Лабораторна робота № 2

Випробування сталі на стиск з визначенням межі міцності

Мета роботи: _____

Випробування виконуються на машині: _____

Вихідні дані

1. Рисунок зразка та схема сил, що діють на нього під час випробування:

2. Характеристики зразка до випробування:

- діаметр зразка $d_0 =$ _____ см;
- початкова висота $h_0 =$ _____ см;
- площа перерізу $A_0 =$ _____ см².

Результати випробування

1. Рисунок зразка після випробування:

2. Характеристика зразка після випробування:

- найбільший діаметр $D =$ _____ см;
- висота $h =$ _____ см;
- площа перерізу $A =$ _____ см.

3. Визначені навантаження:

- сила, що відповідає межі пропорційності $F_{mц} =$ _____ кг;
- найбільше навантаження $F_{max} =$ _____ кг.

4. Величини, що характеризують властивості матеріалу:

- межа пропорційності $\sigma_{mц} =$ _____ кг/см²;
- напруження в найбільшому перерізі $\sigma_{max} =$ _____ кг/см²;
- відносне скорочення зразка $\varepsilon =$ _____ %;
- відносне розширення поперечного перерізу $\psi =$ _____ %.

Роботу прийняв « _____ » _____ р. Керівник _____

« _____ » _____ р.

Лабораторна робота № 3
Випробування чавуну на стиск із визначенням межі міцності

Мета роботи: _____

Випробування виконуються на машині: _____

Вихідні дані

1. Рисунок зразка та схема сил, що діють на нього під час випробування:

2. Характеристики зразка:

– діаметр $d_0 =$ _____ см;

– площа перерізу $A_0 =$ _____ см².

Результати випробувань

1. Рисунок зразка після випробувань:

2. Максимальне навантаження $F_{vax} =$ _____ кг;

3. Межа міцності чавуну $\sigma_{vax} =$ _____ кг/см².

4. Діаграма розтягу чавуну:

Роботу прийняв « _____ » _____ р. Керівник _____

Лабораторна робота № 4 Випробування сталі на зріз

Мета роботи: _____

Випробування виконуються на машині: _____

Вихідні дані

1. Рисунок зразка та схема сил, що діють на нього під час випробування:

2. Характеристики зразка до випробування:

– діаметр $d_0 =$ _____ см;

– площа поперечного перерізу $A_0 =$ _____ см².

Результати випробування

3. Рисунок зразка після випробування:

4. Характеристика зразка після випробування:

– діаметр $d_1 =$ _____ см;

– площа перерізу $A_1 =$ _____ см.

5. Визначені навантаження:

– руйнуюча сила $F_{max} =$ _____ кг.

6. Величини, що характеризують властивості матеріалу:

– межа міцності на зріз $\sigma_{max.c.} = \frac{F_{max}}{2A_0} =$ _____ кг/см².

Роботу прийняв « _____ » _____ р. Керівник _____

Лабораторна робота № 5

Визначення коефіцієнта поперечної деформації сталі

Мета роботи: _____

Випробування виконуються на машині: _____

Вихідні дані

1. Схема зразка з розташуванням тензометрів:
2. Геометричні дані зразка та характеристика устаткування:

- площа поперечного перерізу зразка $A_0 = b_0 \times h_0 =$ _____ $см^2$;
- розрахункова довжина (база тензометрів) $l =$ _____ мм;
- ціна поділки поздовжнього тензометра $K_{позд.} =$ _____ мк;
- ціна поділки поперечного тензометра $K_{поп.} =$ _____ мк.

Таблиця А.1 – Журнал випробувань

№ з/п	Навантаження F , кН	Приріст навантаж. ΔF , кН	Відліки за тензометрами, мк				Примітки
			Поздовж.	Приріст	Поперечн.	Приріст	
			A_1	ΔA_1	A_2	ΔA_2	
1	2	3	4				
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
Середній приріст відліків тензом.			$C(\Delta A_1) =$		$C(\Delta A_2) =$		

3. Результати випробувань:

- приріст абсолютної деформації за поздовжнім тензометром:

$$\Delta l_{позд.} = \frac{C(\Delta A_1) \cdot K_{позд.}}{1000} = \text{_____ мм};$$

- приріст абсолютної деформації за поперечним тензометром:

$$\Delta l_{поп.} = \frac{C(\Delta A_2) \cdot K_{поп.}}{1000} = \text{_____ мм};$$

Лабораторна робота № 6

Визначення нормальних напружень уздовж висоти перерізу під час згинання балки прямокутного перерізу

Мета роботи: _____

Випробування виконується на машині: _____

Вихідні дані

1. Схема навантаження балки та епюри згинальних моментів і поперечних сил:

2. Схема розташування тензометрів:

3. Геометричні характеристики балки та дані про розташування тензометрів:

– прогон балки $L = \underline{\hspace{2cm}}$ см;

– висота перерізу балки $h = \underline{\hspace{2cm}}$ см;

– ширина перерізу балки $b = \underline{\hspace{2cm}}$ см;

– момент інерції перерізу $I = \frac{bh^3}{12} = \underline{\hspace{2cm}}$ см⁴;

– база тензометрів $l = \underline{\hspace{2cm}}$ см,

– ціна поділки тензометрів

[№1 – $K_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ мк
	№2 – $K_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ мк
	№3 – $K_3 = \underline{\hspace{2cm}}$ мк ;
	№4 – $K_4 = \underline{\hspace{2cm}}$ мк
	№5 – $K_5 = \underline{\hspace{2cm}}$ мк

– відстань від опори до точки прикладання сили $a = \underline{\hspace{2cm}}$ см;

– відстань від нейтральної осі до тензометрів

[$Z_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ см
	$Z_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ см
	$Z_3 = \underline{\hspace{2cm}}$ см.
	$Z_4 = \underline{\hspace{2cm}}$ см
	$Z_5 = \underline{\hspace{2cm}}$ см

Таблиця А.2 – Журнал випробувань

№ з/п	Навантаження, <i>F, кН</i>	Відліки за тензометрами									
		1		2		3		4		5	
		Відлік	Приріст $\Delta 1$	Відлік	Приріст $\Delta 2$	Відлік	Приріст $\Delta 3$	Відлік	Приріст $\Delta 4$	Відлік	Приріст $\Delta 5$
1											
2											
3											
4											
5											
Середній приріст відліку		$C(\Delta_1) =$		$C(\Delta_2) =$		$C(\Delta_3) =$		$C(\Delta_4) =$		$C(\Delta_5) =$	

5. Результати випробувань:

– модуль пружності

$$E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

– згинальний момент, що відповідає одному приросту навантаження

$$\Delta M = \frac{\Delta F \cdot a}{2} = \text{_____ кНсм};$$

– теоретичне значення
напружень

$$\sigma_{i \text{ теор.}} = \frac{\Delta M \cdot Z_i}{I};$$

– середній приріст відносних
деформацій

$$\varepsilon_i = \frac{C(\Delta_i) \cdot Z_i}{l \cdot 10 \cdot 1000};$$

$$\left[\begin{array}{l} \sigma_1 = \text{_____ кН / см}^2 \\ \sigma_2 = \text{_____ кН / см}^2 \\ \sigma_3 = \text{_____ кН / см}^2 \\ \sigma_4 = \text{_____ кН / см}^2 \\ \sigma_5 = \text{_____ кН / см} \end{array} \right.$$

$$\left[\begin{array}{l} \varepsilon_1 = \text{_____} \\ \varepsilon_2 = \text{_____} \\ \varepsilon_3 = \text{_____} \\ \varepsilon_4 = \text{_____} \\ \varepsilon_5 = \text{_____} \end{array} \right.$$

– експериментальне значення
напружень

$$\sigma_i = E \cdot \varepsilon_i.$$

$$\left[\begin{array}{l} \sigma_1 = \text{_____} \text{кН / см}^2 \\ \sigma_2 = \text{_____} \text{кН / см}^2 \\ \sigma_3 = \text{_____} \text{кН / см}^2 \\ \sigma_4 = \text{_____} \text{кН / см}^2 \\ \sigma_5 = \text{_____} \text{кН / см}^2 \end{array} \right.$$

6. Елюра розподілу напружень за висотою балки

Роботу прийняв «_____» _____ р. Керівник _____

Лабораторна робота № 7

Випробування сталевого циліндричного зразка на кручення

Мета роботи: _____

Випробування виконуються на машині: _____

Вихідні дані

1. Схема зразка та розташування прогиноміра для вимірювання кута закручення:

2. Геометричні характеристики зразка та дані про розташування прогиноміра:

- діаметр перерізу зразка $d = \text{_____ см};$
- полярний момент інерції $I_{\rho} = \text{_____ см}^4;$
- полярний момент опору $W_{\rho} = \text{_____ см}^3;$
- розрахункова довжина зразка $l = \text{_____ см};$
- модуль пружності матеріалу зразка $E = \text{_____ МПа};$
- коефіцієнт поперечної деформації $\mu = \text{_____};$
- відстань від осі зразка до прогиноміра $a = \text{_____ см};$
- коефіцієнт збільшення прогиноміра $K = \text{_____}.$

Таблиця А.3 – Журнал спостережень

№ з/п	Крутний момент, M , кг см	Відлік за прогиноміром	Приріст відліку Δ
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Середній приріст відліків

$$\Delta_{cp} = \frac{\sum \Delta}{n} = \text{_____}$$

3. Результати випробувань:

– момент, що відповідає межі пропорційності $M_{nu} = \text{_____ кг/см};$

– межа пропорційності в разі кручення $\tau_{nu} = \frac{M_{nu}}{W} = \text{_____ кг/см}^2;$

Лабораторна робота № 8

Поперечний згин сталеві балки з визначенням модуля пружності

Мета роботи: _____

Випробування виконуються на машині: _____

Вихідні дані

1. Схема зразка з розташуванням тензометрів:
2. Геометричні дані зразка та характеристика устаткування:

- площа поперечного перерізу зразка: $A_0 = b_0 \times h_0 = \text{_____} \text{ см}^2$;
- розрахункова довжина (база тензометрів) $l = \text{_____} \text{ см}$;
- момент інерції перерізу балки відносно $I_z = \frac{bh^3}{12} \text{_____} \text{ см}^4$;
- ціна поділки поздовжнього тензометра $K_{\text{позд.}} = \text{_____} \text{ мк}$;
- ціна поділки поперечного тензометра $K_{\text{поп.}} = \text{_____} \text{ мк}$.

Таблиця А.4 – Журнал випробувань

№ з/п	Навантаження $F, \text{кН}$	Приріст навантаж. $\Delta F, \text{кН}$	Відліки за тензометрами, мк				Примітки
			Поздовж.	Приріст	Поперечн.	Приріст	
			A_1	ΔA_1	A_2	ΔA_2	
1	2	3	4	5	6	7	8
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
Середній приріст відліків тензом.			$C(\Delta A_1) =$		$C(\Delta A_2) =$		

3. Результати випробувань:

– середній приріст прогину, що відповідає одній частці навантаження ΔF :

$$\Delta y = \frac{c\rho\Delta A_2 - c\rho\Delta A_1}{10} \cdot K \text{ _____ см;}$$

– модуль пружності:

$$E = \frac{\Delta F \cdot \ell^3}{48I_z \cdot \Delta y};$$

– діаграма напружень у разі розтягу:

Роботу прийняв « _____ » _____ р. Керівник _____

Лабораторна робота № 9

Визначення прогинів та кутів повороту балки прямокутного перерізу в разі плоского згину

Мета роботи: _____

Випробування виконуються на машині _____

Вихідні дані

1. Схема зразка з розташуванням тензометрів:

2. Геометричні дані зразка та характеристика устаткування:

- площа поперечного перерізу зразка $A_0 = b_0 \times h_0 =$ _____ $см^2$;
- розрахункова довжина (база тензометрів) $l =$ _____ $см$;
- момент інерції перерізу балки відносно $I_z = \frac{bh^3}{12}$ _____ $см^4$;
- ціна поділки поздовжнього тензометра $K_{позд.} =$ _____ $мк$;
- ціна поділки поперечного тензометра $K_{поп.} =$ _____ $мк$.

Таблиця А.5 – Журнал випробувань

№ з/п	Навантаження $F, кН$	Приріст навантаж. $\Delta F, кН$	Відліки за тензометрами, $мк$				Примітки
			Поздовж.	Приріст	Поперечн.	Приріст	
			A_1	ΔA_1	A_2	ΔA_2	
1	2	3	4	5	6	7	8
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
Середній приріст відліків тензом.			$C(\Delta A_1) =$		$C(\Delta A_2) =$		

4. Результати випробувань:

– значення прогину середнього перерізу балки, що відповідає одній частці навантаження:

$$y_e\left(\frac{\ell}{2}\right) = \frac{cp\Delta A_1 - cp\Delta A_2}{100 \cdot 10} \text{ см};$$

– значення кута повороту опорного перерізу:

$$\theta_e(0) = \frac{cp\Delta A_3}{2 \cdot L \cdot 10} \text{ рад};$$

– найбільший прогин всередині прольоту:

$$y_{max} = \frac{A_{1max} - A_{2max}}{100 \cdot 10} \text{ см};$$

– найбільший кут повороту опорного перерізу:

$$\theta_{max} = \frac{A_{3max}}{2 \cdot L \cdot 10} \text{ рад.}$$

Роботу прийняв « _____ » _____ р. Керівник _____

Лабораторна робота № 10

Випробування деревини на стиск

Мета роботи: _____

Випробування виконуються на машині: _____

Порода деревини: _____

Вихідні дані

1. Рисунок зразків та семи сил, що діють на них під час випробування:
Уздовж волокон Впоперек волокон

2. Площа перерізу зразків:

Уздовж волокон

Впоперек волокон

$$A_0 = a_0 \cdot b_0 = \text{_____} \text{ см}^2 \quad A_0 = a_0 \cdot b_0 = \text{_____} \text{ см}^2$$

Результати випробування

1. Максимальне навантаження під час руйнування:

Уздовж волокон

Впоперек волокон

$$F_{vax} = \text{_____} \text{ кг/см}^2 \quad F_{vax} = \text{_____} \text{ кг/см}^2$$

2. Межа міцності деревини:

Уздовж волокон

Впоперек волокон

$$\sigma_{vax} = \text{_____} \text{ кг/см}^2 \quad \sigma_{vax} = \text{_____} \text{ кг/см}^2$$

3. Діаграми стиску:

Уздовж волокон

Впоперек волокон

Роботу прийняв « _____ » р. Керівник _____

Лабораторна робота № 11

Випробування деревини на скіл

Мета роботи: _____

Випробування виконуються на машині: _____

Порода деревини: _____

Вихідні дані

1. Рисунок зразків та схеми сил, що діють на них під час випробування:

2. Схема устаткування для випробування та установки зразка:

3. Площа перерізу зразків $A_0 = a_0 \cdot b_0 =$ _____ см^2 .

Результати випробування

Зразок	Максимальне навантаження під час руйнування:
1	– $F_{1max} =$ _____ кг/см^2 ;
2	– $F_{2max} =$ _____ кг/см^2 ;
3	– $F_{3max} =$ _____ кг/см^2 .

Усереднене навантаження під час руйнування:

$$F_{max} = \text{_____} \text{ кг/см}^2.$$

Роботу прийняв « _____ » _____ р. Керівник _____

Лабораторна робота № 12

Визначення механічних характеристик пластмас під час розтягування

Мета роботи: _____

Випробування виконуються на машині: _____

Вихідні дані

1. Рисунок зразка та схема сил, що діють на нього під час випробування:

2. Характеристики зразка до випробування:

- діаметр $d_0 =$ _____ см;
- розрахункова довжина $l_0 =$ _____ см;
- площа поперечного перерізу $A_0 =$ _____ см².

Результати випробування

1. Рисунок зразка після випробування

2. Характеристики зразка після випробування:

- ширина перерізу $d_{uu} =$ _____ см;
- висота перерізу $d_1 =$ _____ см;
- довжина розрахункової частини $l_1 =$ _____ см;
- площа перерізу в місці розриву $A_1 =$ _____ см².

3. Виміряні навантаження, що відповідають:

- межі текучості $F_m =$ _____ кг;
- межі міцності $F_{\max} =$ _____ кг;
- моменту руйнування $F_p =$ _____ кг.

4. Величини, які характеризують міцність матеріалу:

- межа текучості $\sigma_m =$ _____ кг/см²;
- межа міцності $\sigma_{\max} =$ _____ кг/см²;
- дійсне напруження під час розриву $\sigma_p =$ _____ кг/см².

5. Діаграма розтягу та діаграма напружень матеріалу

Випробуваний полімер належить до _____

Роботу прийняв «_____» _____ р. Керівник _____

Лабораторна робота № 13
Випробування пластмас на стиск

Мета роботи: _____

Випробування виконуються на машині: _____

Схема випробувальної машини

Вихідні дані

1. Рисунок зразка та схема сил, що діють на нього під час випробування:

2. Характеристики зразка до випробування:

- діаметр $d_0 =$ _____ см;
- розрахункова довжина $l_0 =$ _____ см;
- площа поперечного перерізу $A_0 =$ _____ см².

Результати випробування

3. Рисунок зразка після випробування:

4. Характеристика зразка після випробування:

- ширина $D =$ _____ см;
- висота $h =$ _____ см;
- площа перерізу $A =$ _____ см.

5. Визначені навантаження:

- руйнівальна сила $F_{pc} =$ _____ кг;
- сила 25 % $F_{25} =$ _____ кг;

– ріст деформацій без збільшення навантаження $F_{m.c.} =$ _____ кг.

6. Величини, що характеризують властивості матеріалу:

– руйнівальне напруження $\sigma_{pc} =$ _____ кг/см²;

– напруження $\sigma_{25} =$ _____ кг/см²;

– відносна деформація $\varepsilon_{pc} =$ _____ %;

– умовна (змішана) межа текучості $\sigma_{y.m.c.} =$ _____ кг;

– відносне розширення поперечного перерізу $\psi =$ _____ %.

7. В обраному масштабі відобразити діаграму стиску.

Роботу прийняв « _____ » _____ р. Керівник _____

Лабораторна робота № 14

Випробування сталі на стомленість у разі змінних за знаком напружень

Мета роботи: _____

Випробування виконуються на машині _____

Вихідні дані

1. Схема випробувальної машини та розташування зразка з епюрою згинальних моментів у перерізах зразка:

2. Геометричні характеристики зразка:

- діаметр перерізу зразка $d = \underline{\hspace{2cm}}$ см;
- момент інерції перерізу $I = \underline{\hspace{2cm}}$ см⁴;
- момент опору перерізу $W = \underline{\hspace{2cm}}$ см³;
- відстань від опор зразка до точок прикладання навантаження $a = \underline{\hspace{1cm}}$ см.

Таблиця А.6 – Журнал спостережень

Номер зразка	Величина навантаження $2F$, кг	Згинальний момент M , кг см	Напруження σ_{max} , МПа	Кількість циклів, N
1				
2				

3. Результати випробувань:

- межа витривалості за результатами випробувань

$$\sigma_{-1} = \underline{\hspace{1cm}} \text{ МПа};$$

- довідникове значення межі витривалості $\sigma_{-1}^c = \underline{\hspace{1cm}}$ МПа;

- похибка експерименту

$$\delta = \left| \sigma_{-1} - \sigma_{-1}^c \right| / \sigma_{-1}^c \cdot 100\% = \underline{\hspace{3cm}}$$

Роботу прийняв « » _____ р. Керівник _____

Лабораторна робота № 15

Визначення питомої ударної в'язкості сталі

Мета роботи: _____

Випробування виконуються на машині: _____

Вихідні дані

1. Схема випробувальної машини:

2. Зразок для випробувань:

3. Геометричні характеристики зразка:

– ширина перерізу зразка

$b =$ _____ см;

– висота перерізу

$h =$ _____ см⁴;

– площа перерізу

$A =$ _____ см³.

Таблиця А.7 – Результати випробувань

№ зразка	Робота руйнування W , кг см	Ударна в'язкість d , кг см/см ²	Ударна в'язкість кДж/м ²
1			
2			
3			

Середня питома ударна в'язкість за результатами випробувань

$d =$ _____ кДж/м²

Матеріал зразка – _____

Роботу прийняв « _____ » _____ р. Керівник _____

Лабораторна робота № 16

Визначення деформацій циліндричної гвинтової пружини під час стискання

Мета роботи: _____

Випробування виконуються на машині: _____

Вихідні дані

1. Схема зразка з розташуванням тензометрів та навантаженням:

2. Геометричні дані зразка та характеристика устаткування:

– зовнішній діаметр пружини: D_3 _____ см;

– діаметр її стрижня пружини $d =$ _____ см;

– середній діаметр $D = D_n - d$ _____ см;

– модуль пружності матеріалу пружини в разі зсуву $G = 0,8 \cdot 10^5$ МПа.

Розрахункову кількість витків пружини n _____.

Таблиця А.8 – Журнал випробувань

№ з/п	Навантаження $F, кН$	Приріст навантаж. $\Delta F, кН$	Відліки за тензометрами, $мк$				Примітки
			Поздовж.	Приріст	Поперечн.	Приріст	
			A_1	ΔA_1	A_2	ΔA_2	
1	2	3	4	5	6	7	8
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
Середній приріст відліків тензом.			$C(\Delta A_1) =$		$C(\Delta A_2) =$		

3. Результати випробувань:

– середній приріст:

$$\Delta(A_1 + A_2)_{cp} = \frac{\Sigma \Delta(A_1 + A_2)}{m} \text{ _____};$$

– експериментальна величина осідання пружини, що відповідає одній частці навантаження ΔF :

$$\lambda_e = \frac{0,5\Delta(A_1 + A_2)_{cp} \cdot K}{10} \text{ _____};$$

– теоретичне значення осідання:

$$\lambda_m = \frac{8\Delta F D^3 n}{G d^4} \text{ _____};$$

– розбіжність теоретичного значення з експериментальним:

$$\varepsilon = \frac{|\lambda_e - \lambda_m|}{\lambda_m} \cdot 100\% \text{ _____}.$$

Роботу прийняв « _____ » _____ р. Керівник _____

Лабораторна робота № 17

Визначення критичної сили стиснутого шарнірно закріпленого на кінцях стрижня

Мета роботи: _____

Випробування виконуються на машині: _____

Вихідні дані

1. Схема зразка з розташуванням тензометрів та навантаження

2. Геометричні дані зразка та характеристика устаткування:

– діаметр зразка $d =$ _____ см;

– розрахункова довжина (база тензометрів) $l =$ _____ см;

– площа поперечного перерізу зразка $A_0 = \frac{\pi d^2}{4}$ _____ см²;

– момент інерції круглого перерізу $I_{min} = \frac{\pi d^4}{64}$ _____ см⁴;

– радіус інерції $i_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}}$; $i_y = d/4 =$ _____ см;

– модуль пружності матеріалу зразка (сталь)
 $E = 2 \cdot 10^5$ МПа = $2 \cdot 10^4$ кН/см²;

– експериментальна критична сила $F_{max} =$ _____ кг;

– гнучкість шарнірно закріпленого стрижня λ $\lambda = \frac{\ell}{i_{min}}$ _____;

– граничне значення гнучкості стержня $\lambda_{np} = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_{тц}}} = 100$;

– умова використання формули Ейлера $\lambda \geq \lambda_{np}$ _____;

– обчислюють критичну силу $F_{кр} = \frac{\pi^2 EI_{min}}{\ell^2} =$ _____;

– розбіжність між експериментальним та теоретичним значеннями критичної сили $\varepsilon = \left| \frac{F_{max} - F_{кр}}{F_{кр}} \right| \cdot 100\% =$ _____.

Роботу прийняв «_____» _____ р. Керівник _____

Лабораторна робота № 18

Визначення напружень у разі позацентрового стиску стрижня

Мета роботи: _____

Випробування виконуються на машині _____

Вихідні дані

1. Схема зразка з розташуванням тензометрів та навантаження:

2. Геометричні дані зразка та характеристика устаткування:

– діаметр зразка $d =$ _____ см;

– площа поперечного перерізу зразка $A_0 = \frac{\pi d^2}{4}$ _____ см²;

– момент інерції перерізу стрижня $I_{min} = \frac{\pi d^4}{64}$ _____ см⁴;

– радіус інерції $i_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}}$ $i_y = d/4$ _____ см;

– модуль пружності матеріалу зразка (сталь)

$$E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа} = 2 \cdot 10^4 \text{ кН/см}^2;$$

– розрахункова довжина (база тензометрів) $l =$ _____ см;

Визначають ціну поділки $K =$ _____.

Таблиця А.9 – Журнал випробувань

№ з/п	Навантаження $F, кН$	Приріст навантаж. $\Delta F, кН$	Відліки за тензометрами, $мк$				Примітки
			Поздовж.	Приріст	Поперечн.	Приріст	
			A_1	ΔA_1	A_2	ΔA_2	
1	2	3	4	5	6	7	8
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
Середній приріст відліків тензом.			$C(\Delta A_1) =$		$C(\Delta A_2) =$		

Результати випробувань:

– середній приріст відліків:

$$\Delta A_{1cp} = \frac{\Sigma \Delta A_1}{m} = \quad , \quad \Delta A_{2cp} = \frac{\Sigma \Delta A_2}{m} = \quad ;$$

– обчислюють відносну деформацію:

$$\varepsilon_{1e} = \frac{\Delta A_{1cp} \cdot K}{\ell} = \quad , \quad \varepsilon_{2e} = \frac{\Delta A_{2cp} \cdot K}{\ell} = \quad ;$$

– напруження в точках (1) та (2) для однієї частки навантаження:

$$\sigma_{1e} = E \cdot \varepsilon_{1e} = E \frac{\Delta A_{1cp} \cdot K}{\ell} =$$

$$\sigma_{2e} = E \cdot \varepsilon_{2e} = E \frac{\Delta A_{2cp} \cdot K}{\ell} = \quad ;$$

– теоретичні значення напружень в точках 1 та 2 ($z_F = d/8$):

$$\sigma_{1m} = -\frac{\Delta F}{A} \left(1 + \frac{z_F \cdot z_1}{i_y^2} \right),$$

$$\sigma_{2m} = -\frac{\Delta F}{A} \left(1 + \frac{z_F \cdot z_2}{i_y^2} \right);$$

– розбіжність між експериментальним й теоретичним значеннями для точки 2:

$$\varepsilon = \left| \frac{\sigma_{2m} - \sigma_{2e}}{\sigma_{2m}} \right| \cdot 100.$$

Роботу прийняв « _____ » р. Керівник _____

ДОДАТОК Б
Механічні характеристики матеріалів

Таблиця Б.1 – Механічні характеристики деяких сталей

Матеріал	Марка	Межа		Відносне подовження ε	Відносне звуження ψ	Твердість за Брінелем НВ	Ударна в'язкість КС, кДж/м ²
		текучості σ_t , МПа	міцності σ_{max} , МПа				
Сталь вуглецева: – звичайної якості – гарячекатана	Ст. 2	220	340...420	0,31	–	140	
	Ст. 3	240	380...470	0,25...0,27	–	–	
	Ст. 4	260	420...520	0,23...0,25	–	–	
	Ст. 5	280	500...620	0,19...0,21	–	–	
Сталь вуглецева: – якісна – конструкційна	30	290	480	0,21	0,5	179	300...400
	35	310	520	0,20	0,45	187	250...350
	40	320	570	0,19	0,45	217	260...300
	45	340	600	0,16	0,40	241	200...300
	50	350	630	0,14	0,40	241	250...300
Сталь хромиста	40х	800	1 000	0,10	0,45	217	600
	50х	900	1 100	0,08	0,40	229	400
Сталь хромонікелева	40ХН	800	1 000	0,11	0,10	207	700
	50ХН	900	1 100	0,09	0,08	207	500

Таблиця Б.2 – Механічні характеристики деяких чавунів

Матеріал	Марка	Межі міцності, МПа, у разі					Стріла прогину (м) з відстанню між опорами 0,6 м	Твердість за Брінелем НВ	Ударна в'язкість за Брінелем НВ	Межа витривалості, Мпа	
		Розтягу	тиску	згину	Зрізу	кручення				гладкого зразка у разі згину	у разі кручення
Модифікований чавун	сч 21	210	750	400	220	280	0,009	171...241	90	100	80
	сч 24	240	850	440	300	300	0,009	190...220	90	120	100
	сч 28	280	1 000	480	350	350	0,009	170...240	100	140	110
Ковкий чавун	кч 30–3	200	–	490	280	340	–	160	80	120	110
	кч 33–8	210	–	530	290	345	–	160	130	130	120
	кч 35–10	220	–	570	300	350	–	150	140	140	130

Електронне навчальне видання

Методичні рекомендації до лабораторних робіт
із навчальної дисципліни

«ОПР МАТЕРІАЛІВ»

(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальностей G19 – Будівництво та цивільна інженерія, G19 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології, G18 – Нафтогазова інженерія та технології, G11 – Машинобудування)

Укладачі: **ГАРБУЗ** Алла Олегівна,
СУПРУН Тетяна Олександрівна,
ПАВЛЮЧЕНКОВ Михайло Васильович,
АЛЬОШЕЧКІНА Тетяна Миколаївна,
ВИНОГРАДОВ Віталій Володимирович

Відповідальний за випуск *К. П. Барахов*

Редактор *Б. О. Хільська*

Комп'ютерне верстання *А. О. Гарбуз, Т. П. Воробйова*

План 2025, поз. 134М

Підп. до друку 23.03.2026. Формат 60 × 84/16.

Ум. друк. арк. 6,3

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,

вул. Чорноглазівська, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: office@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 8386 від 14.07.2025