

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія природничих дисциплін

МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ

ДО ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ

навчальної дисципліни «Теоретична механіка та опір матеріалів»

обов'язкових компонент

освітньо-професійної програми

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

272 Авіаційний транспорт

Технічне обслуговування та ремонт повітряних суден і авіадвигунів

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2023 № 7

СХВАЛЕНО

Методичною радою Кременчуцького
льотного коледжу Харківського
національного університету
внутрішніх справ
Протокол від 28.08.2023 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії природничих дисциплін, протокол від
28.08.2023 № 1

Розробник:

*Викладач циклової комісії природничих дисциплін, спеціаліст вищої категорії,
Сіора А.С.*

Рецензенти:

- 1. Доцент кафедри автомобілів та тракторів Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, кандидат технічних наук, доцент Черниш А.А.*
- 2. Спеціаліст вищої категорії, викладач-методист циклової комісії аеронавігації Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Тягній В.Г.*

1. Розподіл часу навчальної дисципліни за темами

1.1. Розподіл часу навчальної дисципліни за темами (денна форма навчання)

Номер та назва навчальної теми	Кількість годин, відведених на вивчення навчальної дисципліни						Вид контролю
	Всього	з них:					
		лекції	Семінарські заняття	Практичні заняття	Лабораторні заняття	Самостійна робота	
Семестр №6							
Тема №1 Довільна система сил	11	2		4		5	
Тема №2 Кінематика точки	9	-		4		5	
Тема №3 Кінематика твердого тіла	13	2		6		5	
Тема №4 Складний рух	16	2		4		10	
Тема №5 Закони динаміки	9	2		-		5	
Тема № 6Основні положення опору матеріалів.	7	2		-		5	
Тема № 7 Розтягання і стискання. Механічні характеристики матеріалів.	13	2		4	6	5	
Тема № 8Зсув, зминання та кручення.	13	2		4		5	
Тема № 9Плоске згинання.	20	2		8		10	
Тема № 10 Складний опір	20	2		8		10	
Тема № 11Стійкість стиснутих стержнів	9	2		-		5	
Тема № 12Опір матеріалів повторно-змінних напружень	5	2		-		3	
Тема № 13Динамічна дія навантажень	5	2		2		3	
							Екзамен
Всього за семестр №6:	150	24		44	6	76	

1.2. Розподіл часу навчальної дисципліни за темами (заочна форма навчання)

Номер та назва навчальної теми	Кількість годин, відведених на вивчення навчальної дисципліни						Вид контролю
	Всього	з них:					
		лекції	Семінарські заняття	Практичні заняття	Лабораторні заняття	Самостійна робота	
Семестр №2							
Тема №1 Довільна система сил	24	-		2		10	
Тема №2 Кінематика точки	22	-		-		10	
Тема №3 Кінематика твердого тіла	22	2		2		10	
Тема №4 Складний рух	20	-		-		10	
Тема №5 Закони динаміки	9	-		-		10	
Тема № 6Основні положення опору матеріалів.	5	-		-		10	
Тема № 7 Розтягання і стискання. Механічні характеристики матеріалів.	21	-		2		10	
Тема № 8Зсув, зминання та кручення.	22	-		2		10	
Тема № 9Плоске згинання.	26	2		2		10	
Тема № 10 Складний опір	20	2		2		12	
Тема № 11Стійкість стиснутих стержнів	16	-		-		10	
Тема № 12Опір матеріалів повторно-змінних напружень	12	-		-		10	
Тема № 13Динамічна дія навантажень	12	-		-		10	
							Екзамен
Всього за семестр:	150	6		12		132	

2. Методичні вказівки до лабораторних занять

Тема № 6. Розтягнення і стискання.

Лабораторне заняття №1: Визначення модуля поздовжньої пружності при розтягу сталюого зразка.

Навчальна мета заняття: вивчити методи визначення модуля поздовжньої пружності. Визначити експериментальним шляхом модуль E і порівняти одержаний результат з довідковим значенням для матеріалу, який досліджується.

Кількість годин - 2 (денна форма).

Місце проведення: навчальний кабінет коледжу.

Навчальні питання:

Модуль поздовжньої пружності E .

Література: 6, 7 (с. 21-63; 88 - 121)

План проведення заняття:

I. Порядок проведення вступу до заняття.

Проведення попереднього контролю теоретичних знань здобувачів освіти .

II. Порядок проведення основної частини заняття: постановка задачі та обговорення методики її розв'язання за участю здобувачів освіти .

Короткі теоретичні відомості

Модуль поздовжньої пружності E має розмірність напружень і характеризує пружні властивості матеріалу, тобто його здатність чинити опір деформації. Чим більша ця величина, тим менше деформується зразок при інших рівних умовах (довжині, площі та навантаженні). Величина модуля пружності, навіть для того ж самого матеріалу, не є сталою, а не суттєво коливається. При розрахунку цими коливаннями нехтують. Модуль поздовжньої пружності є однією з пружних сталих матеріалу, будь-який розрахунок на міцність, жорсткість, стійкість неможливий без знань модуля поздовжньої пружності.

Випробувальне обладнання і методи вимірювання

Модуль поздовжньої пружності визначають при випробуваннях на розтяг або стиск. Форма і розмір поперечного перерізу зразка залежать від конструкції приладу для вимірювання деформації і конструкції захоплювачів випробувальної машини. Як правило використовують зразки круглого або прямокутного перерізу. Для виконання цієї роботи використовують універсальні випробувальні машини УМ-5, Р-10, Р-20, ГМС-50, УМЕ-10, ЕО2-100 та ін.

Модуль E визначається при пружних деформаціях, величина яких дуже мала (соті і тисячні частки мм). Для визначення лінійних деформацій застосовують тензометри різних типів (важільні, дзеркальні, тензометри зі стрілочними індикаторами, електротензометри та ін.). Тензометр кріпиться на робочу частину зразка для того, щоб уникнути впливу деформацій елементів конструкції випробувальної машини. У цій роботі використовується колінчато-важільний тензометр типу МіЛ (рис. 1.1).

Коефіцієнт збільшення тензометра K , тобто відношення відліку по шкалі до зміни між ножами, залежить від співвідношення плечей важелів

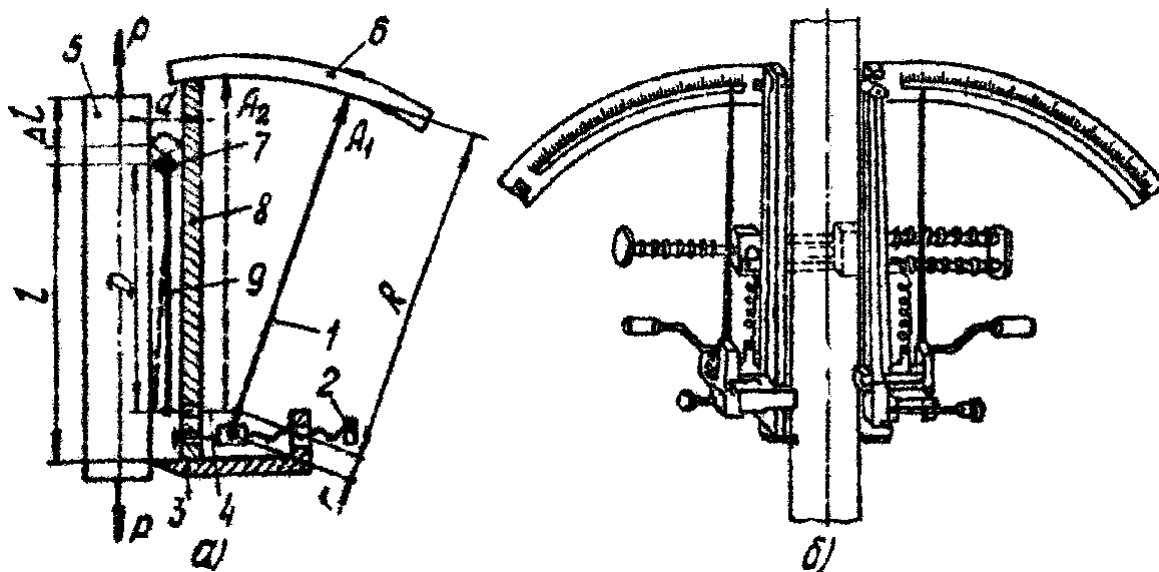
$$K = \frac{D \cdot R}{d \cdot r},$$

де D, R, d, r - розміри плечей важелів (рис. 1.1).

Тензометр типу МіЛ збільшує у 463 рази. Установка тензометра на випробовуваному зразку показана на рис. 1.1.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з роботою випробувальної машини, побудовою та принципом дії тензометра. Записати у звіті роботи (п. 6) розміри поперечного перерізу зразка (d), базу (l) і коефіцієнт збільшення тензометра (K).



1 – стрілка; 2 – гвинт для переміщення стрілки; 3 – нерухомий ніж;
4 – тяга; 5 – зразок; 6 – шкала вимірювань; 7 – рухомий ніж (призма);
8 – рама тензометра; 9 – важіль

Рисунок 1.1 – Принцип дії та схема установки тензометра МіЛ

2. Визначити найбільш допустиме навантаження (P) при проведенні випробувань, установити величину ступеня навантаження (P).

3. Виконати 4–5 навантажень зразка рівними ступенями, після кожного навантаження записати показники лівої і правої шкал тензометра в журнал спостережень.

4. Виконати обробку одержаних результатів у журналі спостережень, для чого необхідно:

- розрахувати середнє показання за шкалами приладу ($(A+B)/2$);
- визначити приріст середніх показань приладу, для чого необхідно відняти з кожного наступного показання попереднє;
- розрахувати середній приріст показань тензометра (Δ_{cp})

$$\Delta_{cp} = \frac{\sum \Delta_i}{n}$$

5. Визначити абсолютну і відносну деформації, які відповідають ступеню навантаження

$$\Delta l_{cp} = \frac{\Delta l_{cp}}{K} ; \quad \Delta \varepsilon = \frac{\Delta l_{cp}}{l},$$

6. Визначити напруження, які відповідають одному ступеню навантаження

$$\Delta \sigma = \frac{\Delta P}{F}$$

7. Оформити звіт до виконаної роботи і зробити висновки.

Обробка результатів випробувань

Для визначення модуля поздовжньої пружності використовується закон Гука $\sigma = E\varepsilon$. Отже, для визначення E необхідно знати величини σ і ε . Через приріст напружень і деформацій, відповідних ступеню навантаження, модуль пружності визначається за формулою

$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon}.$$

Приріст напружень

$$\Delta \sigma = \frac{\Delta P}{F},$$

де P – величина прийнятого одного ступеня навантаження, Н;

F – площа поперечного перерізу зразка,

м². Приріст відносної деформації

$$\Delta \varepsilon = \frac{\Delta l_{cp}}{l},$$

де Δl_{cp} – середня абсолютна деформація, відповідна одному ступеню навантаження (див. журнал спостережень), м;

l – база тензометра, м.

Для різних марок сталей модуль поздовжньої пружності незначно змінюється і знаходиться в межах $E = (1,9-2,1) \cdot 10^5$ МПа.

Зміст звіту

1. Визначення проведено на машині _____
при деформації _____
2. Деформації, виміряні тензометром _____
3. База приладу $l =$ _____
4. Коефіцієнт збільшення приладу $K =$ _____

5. Поперечні розміри зразка $d =$ _____
6. Площа поперечного перерізу $F =$ _____
7. Межа пропорційності $\sigma_{ny} =$ _____
8. Навантаження, яке відповідає границі пропорційності $P_{ny} = \sigma_{ny} \cdot F$ _____
9. Прийняте найбільше навантаження _____
10. Величина ступеня навантаження $P =$ _____
11. Приріст деформації $\Delta l_{cp} = \Delta l_{sp} / K$ _____
12. Приріст відн. деформації $\Delta \varepsilon = \Delta l_{cp} / l$ _____
13. Приріст напружень $\Delta \sigma = \Delta P / F$ _____
14. Модуль поздовжньої пружності:
- а) з досліду $E_d = \Delta \sigma / \Delta \varepsilon$ _____
- б) довідкове $E_{дов}$ _____
- в) розходження у % $\delta = \frac{|E_d - E_{дов}|}{E_{дов}} \cdot 100\%$ _____

Журнал спостережень

№	Навантаження, кг	Показання за шкалами тензометра, мм		Середнє днє показання (A+B)/2, мм	Приріст показників i , мм	Середній приріст показників cp , мм
		A-ліва	B-права			
1	500					
2	1000					
3	1500					
4	2000					
5	2500					
6	3000					

Висновки _____

Контрольні питання

1. Мета лабораторної роботи. Випробувальна машина і вимірювальні прилади.
2. Який закон використовується при визначенні модуля поздовжньої пружності E ?
3. Призначення і побудова колінчато-важільного тензометра МіЛ?
4. Як визначається величина абсолютної деформації за показаннями тензометра типу МіЛ?

5. З якою метою визначається навантаження, яке відповідає межі пропорційності?
6. Що називається базою приладу?
7. Фізичний і геометричний зміст модуля поздовжньої пружності Е.
8. Чому модуль поздовжньої пружності зручніше визначати при розтягу, а не при стиску?
9. Як розраховується найбільше навантаження, яке не слід перевищувати при випробуваннях?

III. Порядок проведення заключної частини заняття.

Здійснити перевірку і оцінювання виконаних завдань. Підвести підсумок лабораторного заняття звернувши увагу на основні помилки при його виконанні.

Лабораторне заняття №2-3: Випробування на розтяг зразка з маловуглецевої сталі

Навчальна мета заняття: дослідження міцності і деформаційних властивостей, матеріалу, вивчення діаграми розтягу маловуглецевої сталі та визначення основних механічних характеристик. Побудова діаграми напружень

Кількість годин- 4 (денна форма).

Місце проведення: навчальний кабінет коледжу.

Навчальні питання:

Вивчення діаграми розтягу маловуглецевої сталі та визначення основних механічних характеристик.

Література: 6, 7 (с. 21-63; 88 - 121)

План проведення заняття:

I. Проведення попереднього контролю теоретичних знань здобувачів освіти.

II. Порядок проведення основної частини заняття: постановка задачі та обговорення методики її розв'язання за участю здобувачів освіти .

Стислі теоретичні відомості.

Випробування на розтяг є основним і найбільш розповсюдженим методом дослідження та контролю механічних властивостей матеріалів. Застосування цього методу регламентовано Держстандартом.

Держстандарт містить основні вимоги до машин, на яких проводяться випробування, необхідні вказівки щодо форми і розміру зразків, визначення понять меж пропорційності, текучості і міцності, відносного подовження і звуження та ін., а також методики проведення випробувань і визначення механічних властивостей матеріалу. Крім цього, спеціально поставлені випробування на розтяг дозволяють визначити й інші характеристики матеріалу, що необхідні для розрахунків на міцність і жорсткість (модуль поздовжньої пружності, коефіцієнт Пуассона і т. д.)

Випробувальне обладнання і методи вимірювання

Випробування на розтяг проводяться на розривних або універсальних машинах, а також на пресах з використанням реверсів. При виконанні такої роботи використовується універсальна випробувальна машина УМЕ-10ТМ з електромеханічним приводом і граничним навантаженням до 0,1 МН (10 т), яка має широкий діапазон швидкостей переміщення активного захоплення (від 0,001 до 100 мм/хв). Силувимірювач і датчик переміщень виконані на тензорезисторах і мають електронне керування. Машина має діаграмний апарат для запису діаграми розтягу (в координатах "навантаження-деформація") з широким діапазоном регулювання масштабів запису діаграм.

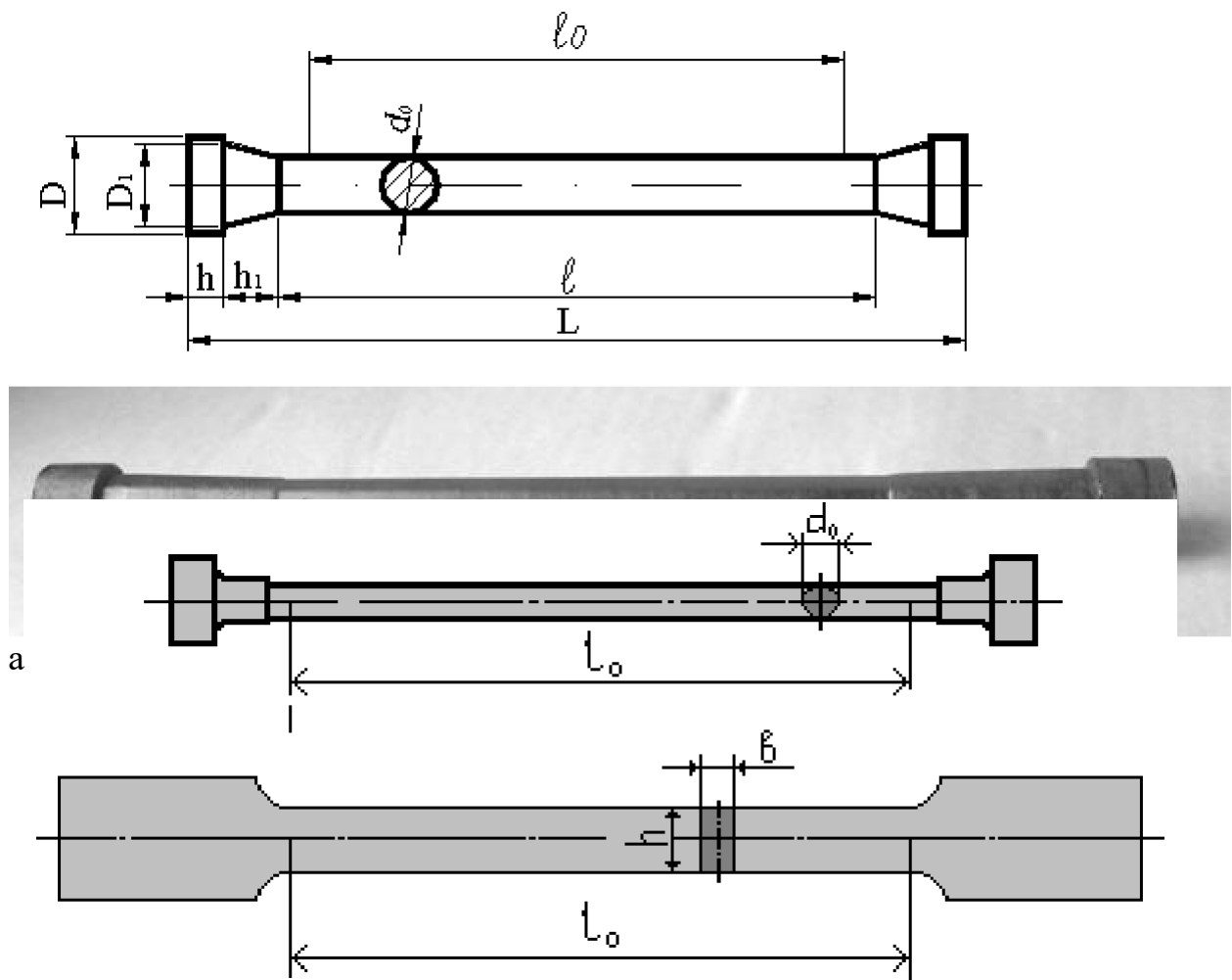
Для випробування на розтяг використовуються круглі (рис. 2.1 а) та плоскі

$$l_0 = 5,65 \sqrt{F_0}$$

(рис. 2.1 б) зразки з початкового розрахункового довжиною і

(короткі) і $l_0 = 11,3 \sqrt{F_0}$ (довгі), де F_0 – початкова площа поперечного перерізу.

На робочій частині зразка за допомогою ділильної машинки МД-3 наносяться риски з інтервалом 5 або 10 мм. Вимірювання розмірів до і після випробувань проводиться з точністю не менше 0,1 мм.



б) плоскі зразки

Рисунок 2.1 – Стальні зразки для випробувань

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з випробувальною машиною та приладами, які використовуються в роботі. Установити необхідні масштаби запису діаграми по осях навантажень і деформацій, швидкість переміщення активного захоплення (не більше 0,4 від довжини розрахункової частини зразка, мм/хв).

2. Виміряти розміри поперечного перерізу (d_0 – для круглого, a_0 і b_0 – для плоского) зразка. Визначити площу поперечного перерізу зразка до випробувань (F_0).

3. Установити зразок і виконати випробування із записом діаграми "навантаження-деформація". Виділити на діаграмі характерні точки і визначити відповідні значення навантаження (P) і деформації (Δl) в цих точках (рис. 2.2).

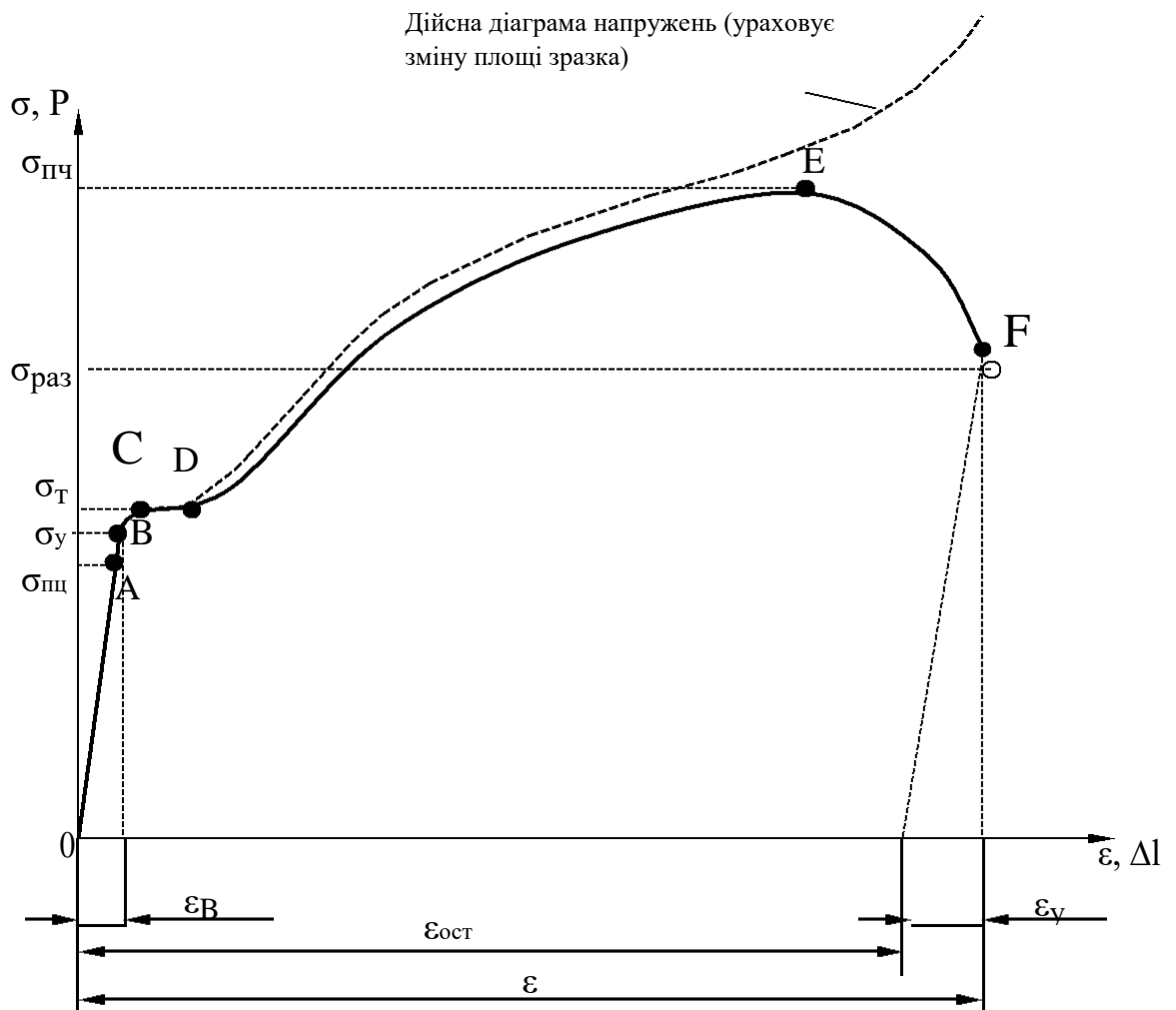


Рисунок 2.2 – Діаграма розтягу (координати $P, \Delta l$). Діаграма напружень (координати σ, ϵ).

Одержані при випробуваннях на розтяг діаграми для маловуглецевих сталей мають вигляд, що представлений на рис. 2.2. Характер залежностей не змінюється, якщо по осі ординат відкласти напруження ($\sigma = p/F_0$), а по осі абсцис – відносне подовження ($\varepsilon = \Delta l / l$). Переглядаючи діаграму, можна побачити, що на ділянці до точки "А" між напруженнями (σ) і деформаціями (ε) існує лінійна залежність. Ця залежність ($\sigma = E\varepsilon$) називається законом Гука, а коефіцієнт пропорційності E називається модулем пружності першого роду або модулем Юнга. При навантаженні менше межі пропорційності (точка В) розвантаження зразка призводить до зникнення деформації. Така деформація називається пружною. При подальшому збільшенні навантаження в інтервалі між точками "А" і "Е" збільшення деформацій непропорційне. Ці деформації називаються залишковими або пластичними.

Напруження, відповідні точці "А", називаються межею пропорційності

$$\sigma_{пч} = \frac{P}{F_0}.$$

Найбільші напруження, при яких зразок не отримує пластичних деформацій (точка В), називаються межею пружності

$$\sigma_y = \frac{P_y}{F_0}.$$

Діаграма може мати площадку текучості (CD), тоді в цьому випадку визначають фізичну межу текучості

$$\sigma_m = \frac{P_m}{F_0}.$$

Для матеріалів, які не мають площадки текучості, визначають умовну межу текучості, відповідну пластичним деформаціям 0,2 %

$$\sigma_{0,2F} = \frac{P_{0,2}}{F_0}.$$

Точці Е (найбільше навантаження) відповідає межа міцності

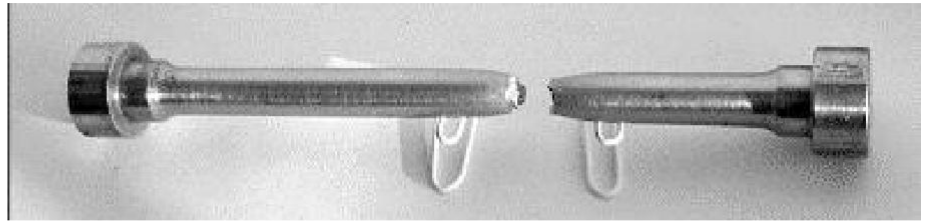
$$\sigma_{пч} = \frac{P}{F_0}.$$

У точці F відбувається розрив зразка (рис. 2.3). Умовне напруження в момент розриву зразка

$$\sigma_{роз} = \frac{P_{роз}}{F_0}$$



а)



б)

а) «шийка звуження» на зразку; б) розірваний зразок

Рисунок 2.3 – Деформований зразок

Пластичність матеріалу при розтягу оцінюється відносним подовженням δ і відносним звуженням ψ , які визначаються за формулами

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} 100\% = \frac{\Delta l}{l_0} 100\%$$

$$\Psi = \frac{F_k - F_0}{F_0} 100\% = \frac{\Delta F_k}{F_0} 100\%$$

де l_k і F_k – відповідно довжина розрахункової частини і мінімальна площа поперечного перерізу зразка після розриву. Для плоских зразків площа визначається як $F_k = a_k b_k$, для круглих – $F_k = \pi d_k^2$.

4. Користуючись одержаною діаграмою "навантаження-деформація", побудувати діаграми умовних і дійсних напружень. Для побудови діаграми умовних напружень визначаються напруження та відносні деформації в характерних точках залежності $P - \Delta l$. При визначенні умовних напружень зусилля, узяті по діаграмі розтягу, діляться на початкову площу поперечного

перерізу зразка (F_0). Відносні деформації визначаються за формулою $\varepsilon = \Delta l / l$, значення Δl беруться у відповідних точках діаграми розтягу.

При побудові діаграми дійсних напружень зусилля у відповідних точках необхідно ділити на дійсну площу поперечного перерізу зразка у даний момент випробувань. При пластичному деформуванні об'єм робочої частини зразка не змінюється, з цього витікає $F_0 l_0 = F_i l_i$, де F_i та l_i - відповідно площа та довжина робочої частини в i -тій точці діаграми, тоді

$$F_i = F_0 \frac{l_0}{l_i} = F_0 \frac{l_0}{l_0 + \Delta l_i} = F_0 \frac{1}{1 + \varepsilon_i}.$$

5. Визначити механічні властивості сталі, що досліджується, і порівняти з властивостями сталей згідно з ГОСТ 1050-74.

6. Оформити звіт до виконаної роботи і зробити висновки.

Обробка результатів випробувань

Розраховуються площі поперечного перерізу зразка до (F_0) і після (F_K) випробувань. Усі виміри виконуються штангенциркулем.

У характерних точках діаграми визначаються навантаження σ_{nc} , σ_y , σ_m , σ_{nc} , $\sigma_{роз}$ і відповідні абсолютні деформації.

Механічні властивості сталі визначаються за формулами:

– межа пропорційності; $\sigma_{nc} = \frac{P_{nc}}{F_0}$

– межа текучості; $\sigma_m = \frac{P_m}{F_0}$

– межа міцності; $\sigma = \frac{P_{nc\ nc}}{F_0}$

– відносне подовження; $\delta = \frac{\Delta l_K}{l_0} 100\%$

– відносне звуження. $\Psi = \frac{\Delta F_K}{F_0} 100\%$

Дійсні напруження визначаються за формулою: $S = \frac{P_i}{F_i}$

Відносні деформації у характерних точках: $\varepsilon = \frac{\Delta l_i}{l_0}$

Зміст звіту

Визначення проведено на машині _____
при деформації _____

Ціна поділки шкали силовимірювача _____
 Ціна поділки шкали деформацій _____

Ескіз зразка

Розміри зразка

	До випробувань		Після випробування	
Розрахункова довжина	l_0		l_k	
Товщина	a_0		a_k	
Ширина	b_0		b_k	
Діаметр	d_0		d_k	
Площа перерізу	F_0		F_k	

Журнал спостережень

Точки P , кг	Δl , мм	$\varepsilon = \Delta l_i / l_0$	$\sigma = p_i / F_0$ кг/мм ²	$F_i = F_0 \frac{l}{l + \varepsilon}$ мм ²	$S = \frac{P_i}{F_i}$ кг/мм ²
A $\approx 0,9 \cdot C$					
C					
D					
E					
F					

Механічні властивості сталі з досліду:

$\sigma_m =$ $\sigma_b =$ $\delta =$ $\psi =$

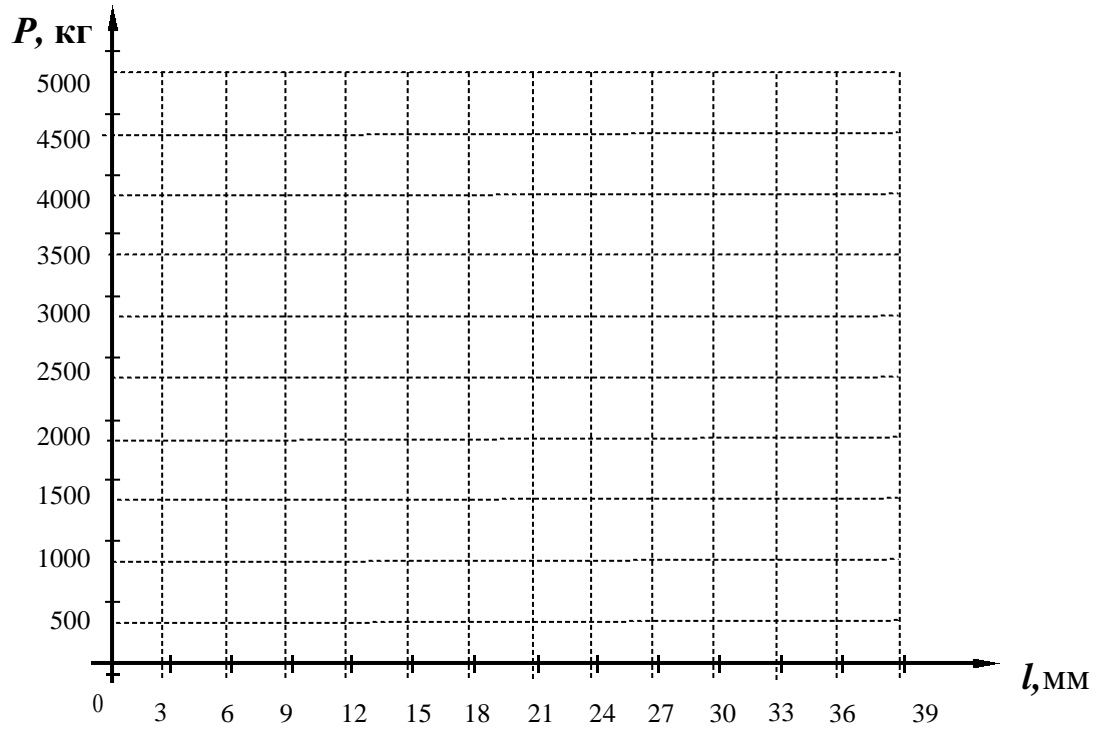
Механічні властивості сталі згідно з ГОСТ 1050-74

$\sigma_m =$ $\sigma_b =$ $\delta =$ $\psi =$

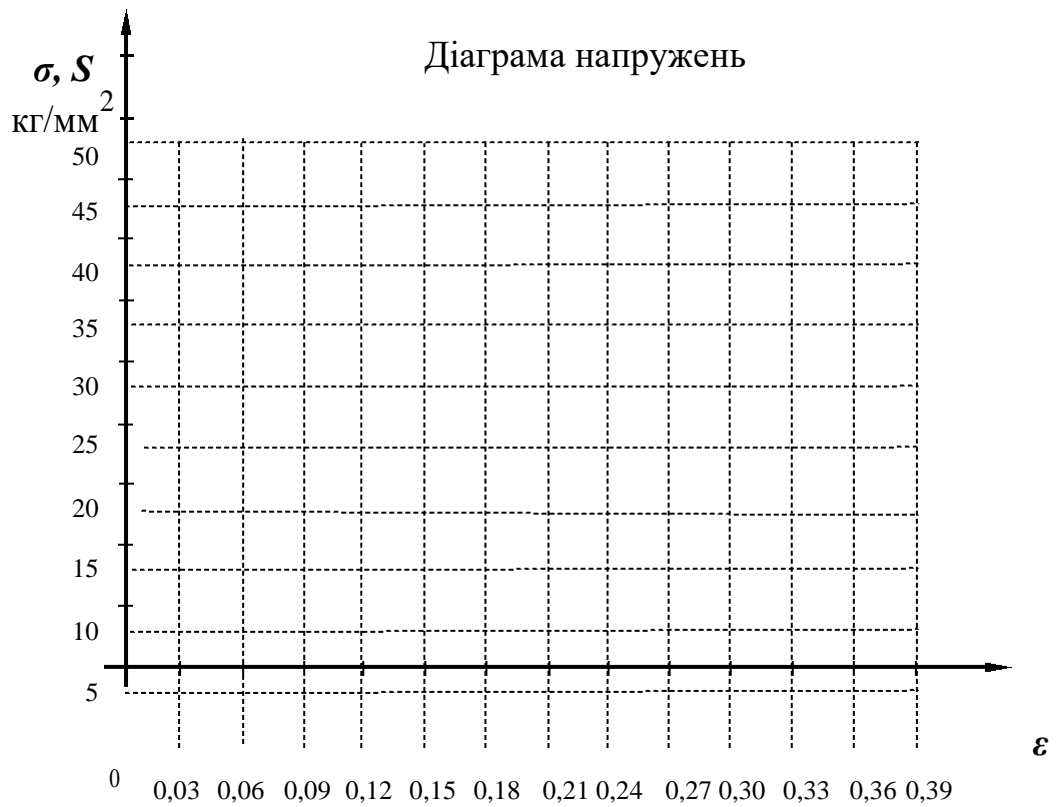
Коефіцієнт запасу міцності $n =$ Напруження,

що допускаються $[\sigma] = \frac{\sigma}{n^m}$

Діаграма розтягу



Діаграма напружень



Висновки

Контрольні питання

1. Зазначити мету роботи.
2. Для якої ділянки діаграми виконується закон Гука?
3. Чи можна підвищити величину межі пропорційності?
4. Як визначити відносні й абсолютні деформації?
5. Як розрахувати відносне звуження?
6. Як визначити дійсні напруження?
7. Чим характеризується межа пружності?
8. Що називається межею міцності та межею текучості?
9. З якою метою використовують діаграми дійсних напружень?
10. Що називається умовною межею текучості?

III. Порядок проведення заключної частини заняття.

Здійснити перевірку і оцінювання виконаних завдань. Підвести підсумок лабораторного заняття звернувши увагу на основні помилки при його виконанні.

3. Рекомендована література (основна, допоміжна), інформаційні ресурси в Інтернеті

Основна

1. Павловський М. А. Теоретична механіка: Підручник.- К.: Техніка, 2002. – 512 с.
2. Федуліна А. І. Теоретична механіка: Навч. посіб.- К.: Вища шк., 2005. – 319 с.
3. Теоретична механіка: Збірник задач / О. С. Апостолук, В. М. Воробйов, Д.І. Ільчишин та ін.; За ред. М. А. Павловського. - К.: Техніка, 2007. – 400 с.
4. Цасюк В. В. Теоретична механіка: Підручник.- Львів: Афіша, 2003. – 402 с.
5. Головіна Н.П. Механіка гіроскопічних систем в авіації: Навчальний посібник. – Кременчук: КЛК НАУ, 2009. – 88с.
6. Гурняк Л.І., Гуцуляк Ю.В., Юзьків Т.Б. Опір матеріалів: Посібник для вивчення курсу при кредитно-модульній системі навчання. – Львів: “Новий світ – 2000”, 2006. – 364 с.
7. Писаренко Г.С. та ін. Опір матеріалів Підручник/Г.С. Писаренко, О. Л. Квітка, Е.С.Уманський. За ред. Г.С. Писаренка – К.: Вища шк., 1993. – 655 с.
8. Корнілов О. А. Короткий курс опору матеріалів: Підручник.- Львів: Магнолія 2006, 2007. – 170 с.

Допоміжна

9. Токар А. М. Теоретична механіка. Кінематика. Методи і задачі: Навч. посіб.- К.: Либідь, 2001. – 339 с.
10. Токар А. М. Теоретична механіка. Динаміка. Методи і задачі: Навч. посіб.- К.: Либідь, 2006. – 314 с.
11. Головіна Н.П. Механіка гіроскопічних систем в авіації: Навчальний

посібник.

12. Опір матеріалів; Лабораторний практикум / В.В. Астанін, М.М. Бордачов, А.П. Зінковський та ін.; За заг. ред. проф. В.В. Астаніна. – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2007. – 224 с.

13. Опір матеріалів з основами теорії пружності й пластичності: У 2 ч., 5 кн. – Ч. II, кн. 4. Приклади і задачі: Навч. посібник / В.Г. Піскунов, В.Д. Шевченко, М.М. Рубан та ін.; За ред. В.Г. Піскунова. – К.: Вища шк., 1995. – 303 с.