

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ СЕМЕНА КУЗНЕЦЯ**

**Методичні рекомендації
до виконання лабораторних робіт
з навчальної дисципліни**

"ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ"

**для студентів напряму підготовки
6.030504 "Економіка підприємства"
всіх форм навчання**

Харків. Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2014

Затверджено на засіданні кафедри технології, екології та безпеки життєдіяльності.

Протокол № 4 від 06.10.2013 р.

Укладач Орехов В. М.

M54 Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни "Основи технологічних систем" для студентів напряму підготовки 6.030504 "Економіка підприємства" всіх форм навчання / укл. В. М. Орехов. – Х. : Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2014. – 96 с. (Укр. мов.)

Наведено лабораторні роботи, які охоплюють основні теми теоретичного матеріалу навчальної дисципліни. Вміщено методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт, які включають теоретичні положення, порядок проведення робіт і контрольні запитання, що призначені для оцінки рівня засвоєння матеріалу та вміння робити висновки за результатами робіт.

Рекомендовано для студентів напряму підготовки 6.030504 "Економіка підприємства".

Вступ

Навчальна дисципліна "Основи технологічних систем" є однією із загальноосвітніх технологічних дисциплін, яка формує у студентів економічного профілю необхідні технологічні знання. Ця навчальна дисципліна забезпечує базові знання в галузі техніки та технології.

За допомогою дисципліни "Основи технологічних систем" економісти напряму підготовки 6.030504 "Економіка підприємства" ознайомлюються з видами, структурою матеріалів, методами їх одержання, підходами щодо створення нових матеріалів, принципами розрахунково-графічних робіт, які необхідні при виготовленні деталей і конструювання механізмів, машин [21]. Опанування навчальної дисципліни створює умови для формування у студентів певних технологічних професійних компетентностей, які необхідні в процесі засвоєння економічних дисциплін.

Вивчення матеріалу навчальної дисципліни "Основи технологічних систем" здійснюється шляхом проведення лекцій, виконання лабораторних робіт, самостійної роботи студентів.

Лабораторні роботи є важливою частиною процесу вивчення дисципліни "Основи технологічних систем". Мета лабораторних робіт полягає у тому, щоб допомогти студентам у засвоєнні об'ємного теоретичного матеріалу навчальної дисципліни, а також в одержанні експериментальних навичок, котрі стосуються матеріалознавства, технічної механіки.

У процесі виконання лабораторних робіт студенти закріплюють знання в галузі одержання матеріалів із заданими властивостями, ознайомлюються з методами визначення фізико-механічних, механічних характеристик матеріалів, принципами розрахунково-графічних робіт, які потрібні у процесі створення деталей механізмів і машин.

Методичні рекомендації до лабораторних робіт включають теоретичні положення, які дозволяють студентам глибоко вдуматися у сутність експериментів і розрахунково-графічних робіт і правильно їх виконувати.

Тому підготовку до лабораторних робіт треба розпочинати з вивчення певної частини теоретичного матеріалу навчальної дисципліни "Основи технологічних систем". Цей матеріал складає основу для творчого підходу до виконання лабораторних, розрахунково-графічних робіт.

У процесі виконання лабораторної роботи потрібно дотримуватися положень ходу проведення роботи, вимог техніки безпеки. Для одержання точних результатів, у разі необхідності, експеримент повторювати не менш трьох разів. Виконання розрахунково-графічних завдань супроводжується теоретичними положеннями, на основі яких складаються формули і проводяться розрахунки.

Перед виконанням кожної лабораторної роботи проводиться перевірка знань студентів за темою. Після завершення лабораторної роботи одержані результати оформлюються у лабораторний журнал.

Протокол проведення лабораторної роботи повинен включати рисунки, діаграми, які студенти будують на основі результатів роботи, а також схеми супряження поверхонь деталей, схеми дії сил у навантажених елементах конструкцій. Такі дані супроводжуються поясненнями щодо їх одержання і відображення зміни характеристик у процесі роботи. Для пояснення може бути використана довідкова технічна та технологічна література.

Виконані і оформлені лабораторні роботи захищаються перед викладачем. У процесі захисту студенти демонструють знання теоретичного й експериментального характеру, а також практичне значення одержаних у роботах характеристик, методів їх визначення, типів супряжень поверхонь деталей.

Складені методичні рекомендації до лабораторних робіт із навчальної дисципліни "Основи технологічних систем" можуть бути використані у процесі самостійної підготовки студентів.

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт

Змістовний модуль 1. Предмет і завдання навчальної дисципліни "Основи технологічних систем". Конструкційні матеріали, їх структура, властивості та значення у забезпеченні якості промислової продукції

Лабораторна робота № 1. Вивчення характеру з'єднань деталей в механізмах та машинах

Обладнання та матеріали: комп'ютери зі стандартним програмним забезпеченням; єдина система допусків і посадок (ЄСДП) – стандарти ЄСДП на основні і проміжні номінальні розміри; ряди допусків і основні відхилення; поля допусків і посадки.

1.1. Основні відомості щодо лінійних розмірів поверхонь деталей та допусків лінійних розмірів

Виготовлення деталей проводиться відповідно до лінійних і кутових розмірів. Лінійний розмір є численне значення лінійної величини, діаметру, довжини в одиницях вимірювання. Згідно з метричною системою мір лінійні розміри на креслениках вказують у міліметрах [4; 6].

Лінійні розміри розподіляють на номінальні, дійсні, граничні.

Номінальний розмір – це розмір, який одержують у процесі проектування механізму на основі розрахунків на міцність, жорсткість, зносостійкість, при цьому враховують технологічні, експлуатаційні вимоги. Номінальні розміри можуть бути цілими і дрібними числами. Для зменшення кількості номінальних лінійних розмірів встановлені нормальні лінійні розміри. Тому на кресленнях вказують розрахунковий розмір, котрий округлений до найближчого значення із ряду нормальних лінійних розмірів.

У процесі виготовлення деталі її розмір може відрізнятись від номінального розміру. У зв'язку з цим для виготовленої деталі вводиться по-

няття "дійсний розмір". Цей розмір визначається шляхом вимірювання з допущеною похибкою. Щоб дійсний розмір забезпечував функціональну придатність деталі не потрібна висока точність операцій обробки поверхонь деталі. Це може призводити до подорожчання усього технологічного процесу виготовлення деталі.

Після номінального розміру визначають граничні розміри поверхонь деталей. Такі розміри дозволяють виключити подорожчання технологічного процесу виготовлення деталей. Граничні розміри розподіляють на найбільший та найменший розміри. Це гранично допустимі розміри, між якими повинен знаходитися дійсний розмір придатної деталі.

На креслениках у доповнення до номінального розміру вказують граничні відхилення. Вони розподіляються на верхнє та нижнє відхилення. Верхнє граничне відхилення – це алгебраїчна різниця між найбільшим граничним розміром та номінальним розміром. Нижнє граничне відхилення – це алгебраїчна різниця між найменшим граничним розміром і номінальним розміром. Тому відхилення мають знак плюс або мінус.

Після виготовлення деталі і вимірювання дійсного розміру встановлюють дійсне відхилення. Це алгебраїчна різниця між дійсним і номінальним розміром поверхні деталі.

Отже, відносно номінального розміру визначають граничні розміри. Крім того, номінальний розмір є початком відрахування усіх відхилень.

Різниця між найбільшим та найменшим граничними розмірами або алгебраїчна різниця між верхнім і нижнім відхиленнями характеризує точність обробки поверхні деталі. Ця різниця є допущенням. Допущення знака не має.

Якщо потрібно виготовити деталь з номінальним розміром поверхні 37,5 мм, то згідно з рядом нормальних номінальних розмірів даний розмір округляють до ближчого номінального розміру 38 мм. Цей розмір є номінальним розміром поверхні деталі. За спеціальними таблицями для номінального розміру 38 мм залежно від квалітету визначають граничні відхилення. Наприклад, верхнє відхилення складає 18 мкм зі знаком плюс, а нижнє відхилення дорівнює 2 мкм зі знаком плюс. Тоді на кресленку номінальний розмір із відхиленнями записується таким чином:

$$38^{+018}_{+002}$$

1.2. Порядок проведення роботи

Робота передбачає проведення розрахунково-графічного дослідження розмірів охопленої поверхні. Необхідно визначити граничні розміри, відхилення, допущення для охопленої поверхні, характер положення поля допущення відносно номінального розміру. Встановити вид супряження з отвором. Вказати зазор або натяг і позначити посадки за допомогою кількісних значень граничних розмірів. Варіанти вихідних даних, які одержують студенти, наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Розміри поверхонь вала та отвору

Варіант	Позначення розміру поверхні деталі на кресленні, мм			
	Дійсний розмір поверхні деталі, мм			
	Вал			Отвір
1	2	3	4	5
1	$10_{-0,01}^{+0,02}$	$10_{+0,02}^{+0,03}$	$10_{-0,02}^{-0,01}$	$10^{+0,01}$
	10,015	10,015	10,0	
2	$10_{+0,1}^{+0,25}$	$10_{-0,1}^{+0,3}$	$10_{-0,3}^{-0,2}$	$10^{+0,2}$
	10,25	10,01	9,8	
3	$10_{+0,035}^{+0,05}$	$10_{+0,02}^{+0,04}$	$10_{-0,03}^{-0,01}$	$10^{+0,03}$
	10,03	10,3	9,9	
4	$10_{+0,1}^{+0,25}$	$10_{-0,1}^{+0,3}$	$10_{-0,3}^{-0,2}$	$10^{+0,2}$
	10,3	9,9	10,0	
5	$10_{-0,01}^{+0,02}$	$10_{+0,02}^{+0,03}$	$10_{-0,02}^{-0,01}$	$10^{+0,01}$
	10,01	10,035	9,99	
6	$10_{+0,035}^{+0,05}$	$10_{+0,02}^{+0,04}$	$10_{-0,03}^{-0,01}$	$10^{+0,03}$
	10,02	10,03	9,98	
7	$15_{-0,2}^{+0,3}$	$15_{-0,2}^{+0,2}$	$15_{-0,3}^{-0,1}$	$15^{+0,1}$
	15,1	15,25	15,0	
8	$18_{+0,03}^{+0,05}$	$18_{+0,02}^{+0,03}$	$18_{-0,02}^{+0,02}$	$18^{+0,03}$
	18,015	18,04	18,00	

1	2	3	4	5
9	$18^{+0,04}_{+0,01}$	$18^{+0,03}_{+0,01}$	$18^{+0,02}_{-0,01}$	$18^{+0,03}$
	18,025	18,04	18,03	
10	$30^{+0,15}_{-0,1}$	$30^{-0,2}_{-0,3}$	$30^{+0,3}_{+0,1}$	$30^{+0,1}$
	30,05	29,7	30,4	
11	$65^{-0,01}_{-0,02}$	$65^{+0,03}_{-0,04}$	$65^{+0,04}_{+0,02}$	$65^{+0,01}$
	65,0	65,02	65,01	
12	$80^{+0,02}_{+0,01}$	$80^{+0,01}_{-0,01}$	$80^{-0,01}_{-0,02}$	$80^{+0,015}$
	80,04	79,97	80,0	

Роботу здійснюють відповідно до таких прикладів дослідження охопленої поверхні (вала) та поверхні (отвору), яка охоплює вал. Розміри досліджених вала та отвору наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Дійсні та номінальні розміри вала та отвору

Найменування параметра	Позначення розмірів поверхні на креслення			
	Вал			Отвір
	$10^{+0,05}_{-0,035}$	$10^{+0,04}_{+0,02}$	$10^{-0,01}_{-0,03}$	$10^{+0,03}$
Дійсний розмір, мм	10,03	10,01	9,8	

Із табл. 2 видно, що у першому значенні розміру поверхні валу номінальний розмір дорівнює 10 мм, верхнє та нижнє відхилення відповідно складають +0,05 мм і -0,035 мм. Найбільший та найменший граничні розміри дорівнюють 10,05 мм та 9,965 мм.

Вказаний у табл. 2 дійсний розмір валу становить 10,03 мм. Цей розмір знаходиться в інтервалі між граничними розмірами. Тому поверхня вала є придатною. Для підтвердження цього висновку визначається

допущення. Воно дорівнює 0,085 мм. За величиною допущення проводиться економічна оцінка технологічного процесу виготовлення деталей. Чим більше допущення, тим дешевший технологічний процес, хоча знижується точність виготовлення деталей. На практиці економічно вигідно використовувати великі допущення за умови забезпечення функціональної придатності деталей.

Для графічного зображення валів та отворів застосовується схема, на якій вказують граничні розміри. Таку схему одержують на комп'ютері за допомогою програми Paint. Побудова схеми розпочинається з проведення нульової лінії. Це горизонтальна лінія, котра відповідає номінальному розміру. Від цієї лінії відкладаються граничні розміри. Вгору вказують розміри зі знаком плюс, вниз – зі знаком мінус. Графічна схема для валу наведена на рис. 1, для отвору – на рис. 2.

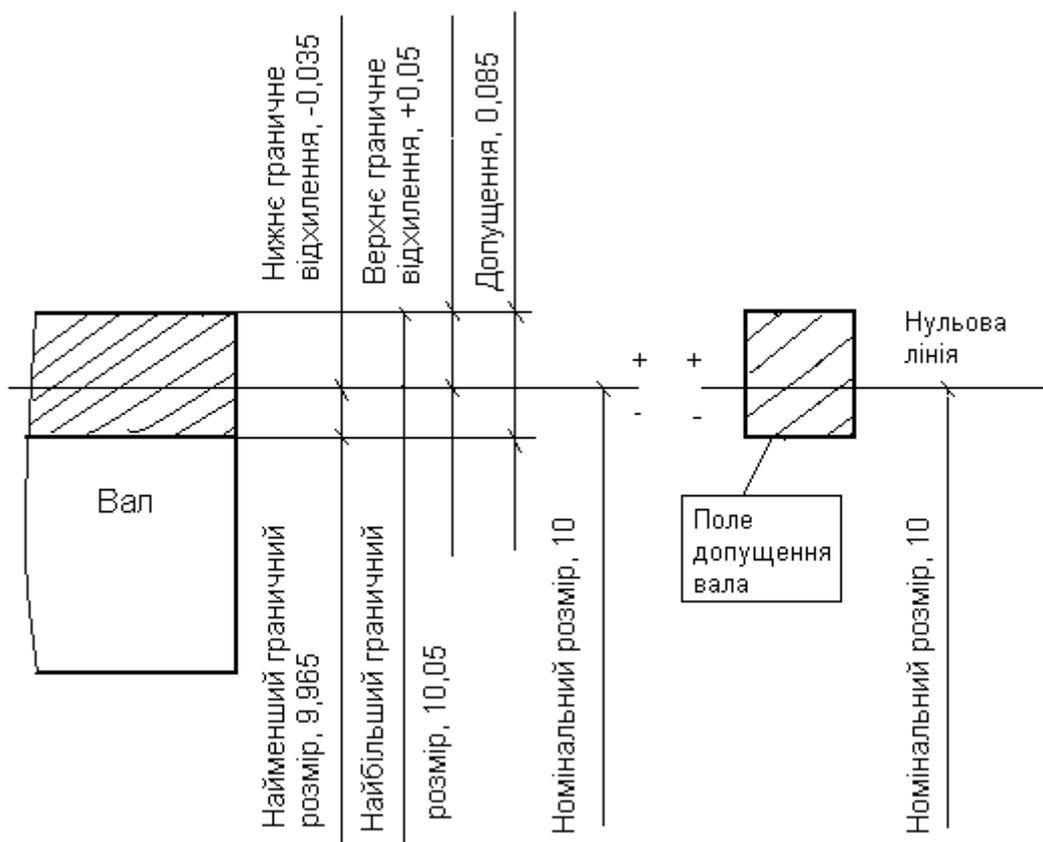


Рис. 1. Графічне зображення граничних розмірів, відхилень, поля допущення валу

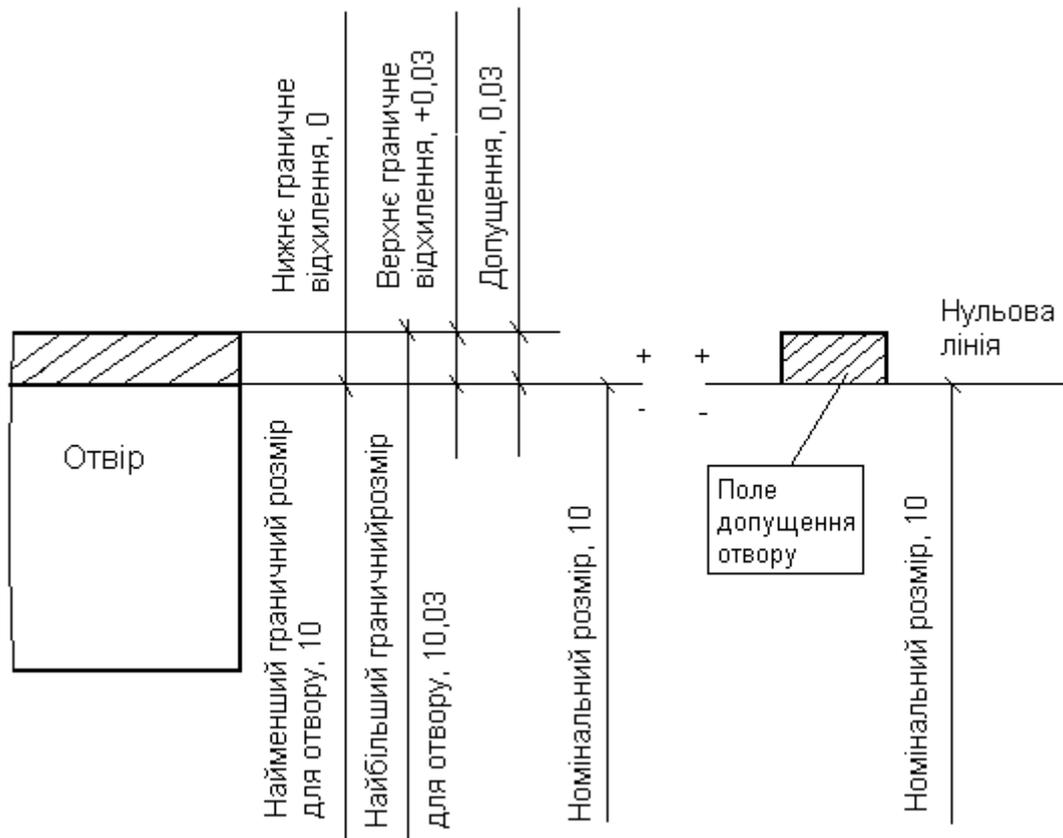


Рис. 2. Графічне зображення граничних розмірів, відхилень, поля допущення отвору

На рис. 1 і 2 одержані поля допущень вала й отвору, які вказують величину та положення допущення відносно номінального розміру. Відносно номінального розміру поле допущення вала є асиметричним двостороннім, а поле допущення отвору – асиметричним одностороннім із нижнім відхиленням, котре дорівнює нулю.

Для оцінки характеру супряження вала з отвором необхідно розглянути граничні розміри їх поверхонь. Якщо супряженню підлягає отвір із найбільшим граничним розміром і вал із найменшим граничним розміром, тоді утворюється зазор (S). Величина зазору дорівнює:

$$S_{\max} = 10,03 - 9,965 = 0,065 \text{ мм.} \quad (1)$$

У процесі спряження отвору з найменшим граничним розміром та валу з найбільшим граничним розміром утворюється посадка з натягом (N). Величина натягу складає:

$$N_{\max} = 10,05 - 10,00 = 0,05 \text{ мм.} \quad (2)$$

Для графічного зображення виду посадки отвору з валом застосовуються поля допущень отвору та валу, які наведено на рис. 1 і 2. Графічна схема посадки показана на рис. 3.

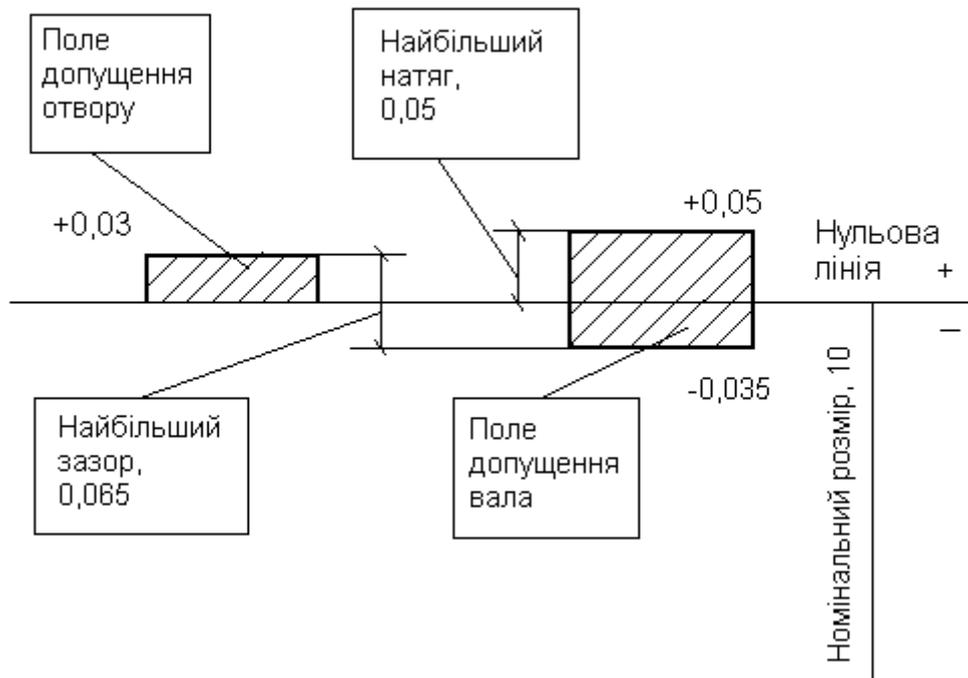


Рис. 3. Графічне зображення перехідної посадки

Із рис. 3 видно, що поля допущень отвору та вала перекриваються. Це вказує на наявність перехідної посадки.

З технологічної та експлуатаційної точок зору вигідно, щоб було постійним положення поля допущення однієї деталі. Так, у табл. 2, наведено дані з різними значеннями розмірів для поверхонь вала й одне значення розміру для отвору. Тому положення поля допущення отвору є базовим і не залежить від характеру з'єднання з валом. Деталь – отвір є основною деталлю системи спряження.

Зазор і натяг утворюються з основним отвором. Такі дані вказують, що в дослідженому прикладі посадка проводиться в системі отвору.

Способи обробки поверхонь вала та отвору мають різну точність. Для завдання ступеня точності обробки поверхонь деталей використовуються квалітети (ряди точності). Спряження вала з отвором відноситься до відповідальних посадок. Для вала приймається 6 квалітет, для отвору – 7 квалітет. Це дає змогу застосовувати для обробки поверхонь вала

та отвору, наприклад, точне точіння, чистове протягування та інші способи. На кресленні досліджені поля допущень вала та отвору можуть умовно позначатися у вигляді цифр і букв, наприклад, 10h6, 10H7. У збірному кресленні посадка вказується у вигляді дроби: $10 \frac{H7}{h6}$.

Подібним чином досліджують інші числові значення поверхонь вала, котрі наведені у табл. 2. Одержані результати подані в табл. 3.

Таблиця 3

Результати дослідження спряження поверхонь вала з отвором

Найменування параметра	Позначення розмірів поверхні на кресленні			
	Вал			Отвір
	$10^{+0,05}_{-0,035}$	$10^{+0,04}_{+0,02}$	$10^{-0,01}_{-0,03}$	$10^{+0,03}$
Дійсний розмір, мм	10,03	10,01	9,8	
Номинальний розмір, мм	10	10	10	10
Верхнє граничне відхилення, мм	+0,05	+0,04	-0,01	+0,03
Нижнє граничне відхилення, мм	-0,035	+0,02	-0,03	0
Дійсне відхилення, мм	+0,03	+0,01	-0,2	-
Найбільший граничний розмір, мм	10,05	10,04	9,99	10,03
Найменший граничний розмір, мм	9,965	10,02	9,97	10
Допущення, мм	0,085	0,02	0,02	0,03
Поле допущення	Асиметричне двобічне	Асиметричне однібічне з плюсовими відхиленнями	Асиметричне однібічне з мінусовими відхиленнями	Асиметричне однібічне з нижнім відхиленням що дорівнює нулю
Посадка	перехідна	перехідна	зазор	
Найбільший зазор, мм	0,065	0,01	0,06	
Найбільший натяг, мм	0,05	0,04	-	
Найменший зазор, мм	-	-	0,01	

Результати розрахунків, графічні зображення граничних розмірів, відхилень, допущень, полів допущень, посадок, що виконуються відповідно до варіанта роботи заносяться у лабораторний журнал.

1.3. Контрольні запитання для захисту лабораторної роботи

1. На основі яких розмірів виготовляють деталі механізмів? Як розподіляють такі розміри?
2. Що таке номінальний розмір поверхні деталі? Як одержують такі розміри?
3. Які лінійні розміри одержують шляхом вимірювання поверхонь деталей? Обґрунтувати економічне значення таких розмірів деталей.
4. Охарактеризувати граничні лінійні розміри поверхонь деталей. Яке практичне значення цих розмірів?
5. Які відхилення утворюються у процесі проектування деталей і виготовлення деталей механізмів? Які шляхи розрахунків таких відхилень?
6. Яке значення номінального розміру у разі проектування і виробництва деталей? Як позначають розміри на кресленнях?
7. Що таке допущення у лінійних розмірах поверхонь деталей? Які методи розрахунків допущень?
8. Як утворюються поля допущень для обробки поверхонь деталей? Скільки виділяють типів положень полів допущень відносно нульової лінії?
9. У якому разі супряження поверхонь деталей утворює посадку? Які типи посадок?
10. Що таке зазор, натяг у процесі утворення посадки? Які шляхи визначення зазору і натягу?
11. Охарактеризувати системи посадок. Що приймають у цих системах за основну деталь?
12. Що таке ЄСДП? Яка структура ЄСДП?

Лабораторна робота № 2. Вивчення процесу кристалізації речовин

Обладнання та матеріали: біологічний мікроскоп, водяна баня, термометри, предметно скло, речовини.

2.1. Теоретичні основи процесу кристалізації

Кристалізація є процесом утворення кристалів із пересичених розчинів і зростання кристалів. Розрізняють первинну і вторинну кристалізацію [2; 7; 14; 17].

Первинна кристалізація – це перехід речовини із рідкого стану в твердий стан. У розчині атоми речовини розташовані хаотично (аморфний

стан). При кристалізації проходить утворення центрів кристалізації. Первинна кристалізація характерна всім кристалічним речовинам – металам і неметалам.

Вторинна кристалізація – це утворення кристалів нового типу в матеріалі, який вже піддався кристалізації. Такий вид кристалізації має місце у поліморфних металах і сплавах. У цих матеріалах проходить перетворення зародків. Теж саме проходить при зміні розчинності будь-якого елемента в кристалічній решітці матеріалу, котра є основою сплаву.

Рушійною силою будь-якого перетворення є вільна енергія, E . Ця енергія характеризує стабільність системи. Чим більше E , тим менше стабільність системи. При цьому система може перейти у стан із меншою енергією, E . Спонтанно можуть проходити процеси, які супроводжуються зменшенням вільної енергії, E .

Зміна вільної енергії, E , залежно від температури, T , у процесі первинної кристалізації наведено на рис. 4.

Із рис. 4 видно, що при температурі T_0 криві 1 і 2 пересікаються. Це відповідає рівноважній теоретичній температурі кристалізації. Вище T_0 вільна енергія рідкого стану менше вільної енергії твердого стану. Тому стабільним буде рідкий стан матеріалу.

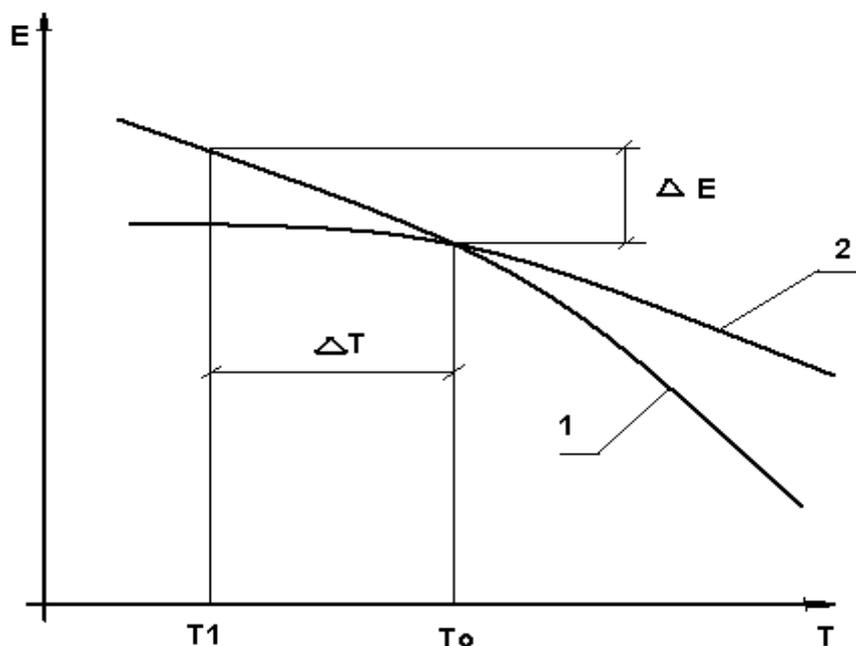


Рис. 4. Залежність зміни вільної енергії від температури:
1 – для рідкого стану, 2 – для твердого стану

При температурах, які нижче T_0 , вільна енергія твердого стану менше вільної енергії рідкого стану. Тоді стабільним буде твердий стан ма-

теріалу. Отже, температура T_0 є температурою рівноваги рідкого та твердого станів матеріалу.

Для початку процесу кристалізації речовини повинна виконуватися умова:

$$\Delta E = E_p - E_{ТВ} > 0. \quad (3)$$

Для цього потрібно переохолодити речовину до температури, яка нижче T_0 , наприклад, T_1 . У результаті розпочнеться процес кристалізації. Різниця між рівноважною температурою, тобто T_0 і температурою T_1 має назву ступеня переохолодження речовини. Вона позначається ΔT і визначається за формулою:

$$\Delta T = T_0 - T_1. \quad (4)$$

Ступінь переохолодження збільшується з підвищенням швидкості охолодження. Залежність ступеня переохолодження від швидкості охолодження наведено на рис. 5.

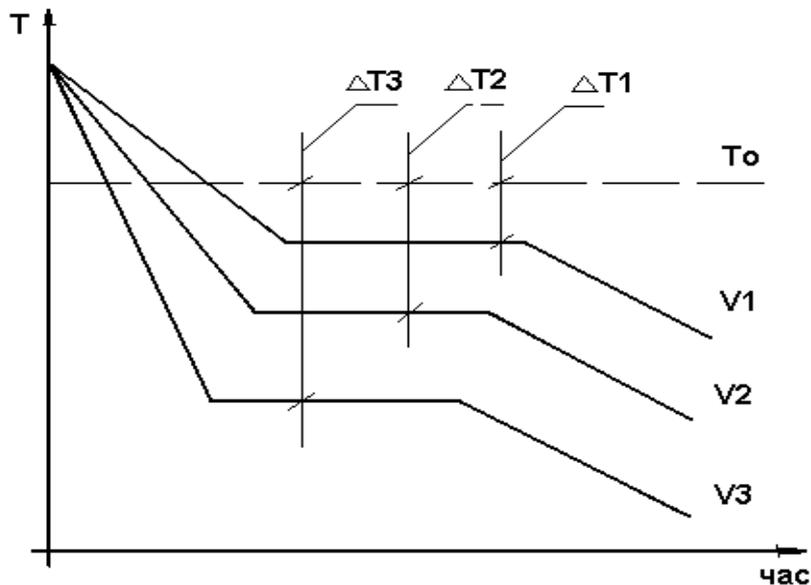


Рис. 5. Залежність ступеня переохолодження від швидкості охолодження: $V_1 < V_2 < V_3$

Із рис. 5 видно, що найбільший ступінь переохолодження відповідає найбільшій швидкості охолодження, V_3 .

Кристалізація проходить за рахунок двох процесів: утворення зародків кристалів і зростання кристалів. Первинна форма зародків зале-

жить від типу кристалічної решітки. Зародки можуть мати форму куба, шестикутника, призми. У процесі розвитку кристалізації зародки розростаються, зіштовхуються, втрачають первинну форму. Після закінчення первинної кристалізації в матеріалі утворюються зерна, котрі є багатокутниками. Кристали повільної форми, які виникають після завершення кристалізації, мають назву зерна або кристалітів.

Кристали можуть зростати у вигляді дендритів тобто деревоподібних кристалів. Дендрити утворюються у разі неоднакової швидкості зростання кристалів у різних напрямках.

У ході формування дендритів від зародків зростають первинні або головні осі. Перпендикулярно до них утворюються осі вищих порядків. В останню чергу йде кристалізація розчину. Цей розчин заповнює об'єм між осями. В процесі стикання дендритних кристалів вони втрачають свою форму. В результаті утворюється поліедрична структура кристалічної речовини.

Утворення зародків описується певною швидкістю зародження центрів кристалізації. Ця швидкість характеризує кількість зародків, які утворюються в одиниці об'єму в одиницю часу. Швидкість зародження центрів кристалізації позначають V_3 .

Процес зростання кристалів описується швидкістю зростання, V_p . Така швидкість характеризує збільшення лінійного розміру кристалів в одиницю часу.

Змінення швидкостей, які описують процес кристалізації речовини, від ступеня переохолодження наведено на рис. 6.

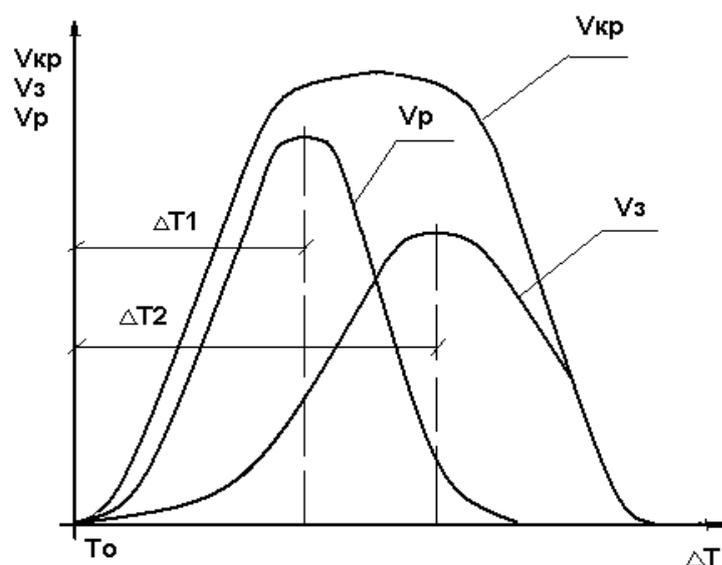


Рис. 6. Залежність швидкості утворення зародків, швидкості їх зростання, загальної швидкості кристалізації від ступеня переохолодження

Із рис. 6 видно, що швидкості змінюються за кривими, які мають екстремуми. Однак максимумами відповідають різним ступеням переохолодження. Так, при ступені переохолодження ΔT_1 швидкість зростання кристалів велика, а швидкість зародження центрів кристалізації невелика. Це означає, що за вказаного ступеня переохолодження утворюється незначна кількість зародків. Вони швидко зростають і в результаті утворюється крупнозерниста структура речовини.

При ступені переохолодження ΔT_2 з'являється багато зародків, швидкість зростання котрих невелика. В результаті одержується речовина, яка має дрібнозернисту структуру. Розмір зерна впливає на властивості речовини. Чим менше розмір зерен речовини, тим кращі властивості речовини. Тому при кристалізації речовини, наприклад сталі, прагнуть отримувати дрібнозернисту структуру.

Зменшення зерна при кристалізації досягаються двома шляхами. Перший шлях полягає в регулюванні ступеня переохолодження, тобто зміненням швидкості охолодження. Другий шлях передбачає проведення модифікації.

Модифікація – це процес введення у розчин або розплав речовин – модифікаторів, котрі утворюють додаткові центри кристалізації. В результаті утворюється невелике зерно і досягається дрібнозерниста структура речовини.

2.2. Порядок проведення роботи

На технічних вагах відважують досліджену речовину масою 0,5 г із точністю до 0,1 г. Цю речовину вміщують в колбу або конус об'ємом 100 мл. У колбу наливають розчинник у такій кількості, щоб він покривав речовину. Якщо для дослідженої речовини у якості розчинника можна використовувати воду, то її застосовують.

Колбу закривають зворотним холодильником і починають нагрівати на водяній бані. Нагрів на водяній бані проводиться протягом п'яти хвилин. У процесі нагріву на киплячій водяній бані проводиться перемішування речовин, які знаходяться у колбі. Якщо після закінчення п'яти хвилин речовина у колбі не розчиняється, тоді через зворотний холодильник додають 2 – 3 мл розчинника. Далі повторюють процес розчинення речовини у колбі. У випадку відсутності розчинення речовини нагрів проводять прямо на електроплиті при незначному кипінні розчинника.

Одержаний розчин речовини є пересиченим розчином. З цього розчину проводять процес кристалізації речовини двома шляхами.

Перший шлях складає у повільному охолодженні гарячого розчину при кімнатній температурі. Для цього колбу встановлюють у місці, де у промінні світла добре видно всі процеси, які проходять у колбі. У міру зниження температури в колбі з'являються перші кристали. Ці кристали починають зростати. Залежно від природи речовини кристали мають різну форму, наприклад, форму голки, куба, багатогранника. Кількість кристалів невелика, оскільки при вільному охолодженні встановлюється динамічна рівновага між розчином і кристалами. В результаті частина речовини залишається у розчині. Подібні процеси проходять у природі.

Другий шлях полягає у штучному охолодженні. Це зазначає швидке зниження температури розчину. Для цього досліджену речовину знову розчиняють у розчиннику в колбі відповідно до описаної методики. Потім колбу з гарячим розчином речовини підставляють під потік холодної води. В результаті різкого зниження температури утворюється велика кількість кристалів. У цьому процесі градієнт концентрації речовини направлений в осад, тобто в кристали. Кристали не встигають підрости й осідають на дно колби. В результаті утворюється велика кількість кристалів невеликого розміру. У розчині залишається незначна кількість речовини. На практиці штучна кристалізація дозволяє знизити втрати речовин.

Для вивчення дендритів використовують біологічний мікроскоп. Відповідно до інструкції проводять настройку освітлення мікроскопу. Далі у мікроскопі закріплюють чисте предметне скло.

Після підготовки мікроскопу в колбі об'ємом 100 мл одержують розчин речовини в розчиннику. За допомогою скляної палички дві – три краплі гарячого розчину речовини переносять на предметне скло, яке розташовано у мікроскопі. Під мікроскопом розглядають процес кристалізації речовини й утворення дендритів. Оскільки охолодження розчину речовини на предметному склі йде швидко, то дослідження повторюють декілька разів. Одержану кристалічну структуру речовини фотографують або зарисовують у лабораторному журналі.

2.3. Контрольні запитання для захисту лабораторної роботи

1. У чому сутність процесу кристалізації речовин? На які види розподіляють кристалізацію?
2. Які особливості первинної кристалізації? Для яких речовин характерний цей вид кристалізації?

3. Для яких сплавів характерна вторинна кристалізація? Які властивості речовин змінюються при вторинній кристалізації?
4. Яка енергія є рушійною силою будь-якого перетворення? Як спонтанно проходять процеси?
5. Провести графічне пояснення змінення вільної енергії залежно від температури. Яка температура має назву рівноважної теоретичної температури?
6. На основі зміни вільної енергії пояснити утворення рідкого і твердого станів речовини?
7. Розкрити поняття "ступені переохолодження". Як змінюється ступінь переохолодження залежно від швидкості охолодження?
8. Охарактеризувати процеси, які проходять при кристалізації.
9. Як проходить процес зростання деревоподібних кристалів?
10. За допомогою яких швидкостей характеризують окремі процеси при кристалізації?
11. Охарактеризувати залежність швидкостей процесів при кристалізації від ступеня переохолодження. Яке практичне значення для технологічних систем має така залежність?
12. Як впливає розмір зерен при кристалізації на властивості речовин і сплавів?
13. Охарактеризувати стадії експерименту та вимоги охорони праці та техніки безпеки при проведенні лабораторної роботи.

Лабораторна робота № 3. Побудова кривих охолодження та на їх основі діаграм стану систем неорганічних і органічних речовин

Обладнання та матеріали: електрична піч, керамічні тиглі, водяна баня, термостат, пробірки, ампули, термометри, свинець, сурма, нафталін, дифеніламін.

3.1. Теоретичні основи утворення сплавів

У технології виготовлення різних виробів використовують металеві сплави. Ці сплави забезпечують необхідні фізико-механічні, механічні властивості, які пред'являються до деталей механізмів і машин.

Металевий сплав є система, яка складається з двох і більше компонентів і володіє металевими властивостями. У якості компонентів сплаву

можуть бути хімічні елементи, тобто метали, неметали, а також сполуки хімічних елементів [7; 22].

Якщо компоненти сплаву у рідкому стані розчинені один у одному, тоді ці компоненти утворюють рідкий розчин. У цьому розчині атоми елементів перемішані. Одержання твердого сплаву може супроводжуватися утворенням механічної суміші, твердого розчину, хімічних сполук.

Якщо компоненти сплаву не розчиняються в твердому стані один у одному і не вступають у хімічні реакції, тоді утворюється механічна суміш. Утворення твердого розчину проходить тоді, коли один з елементів розчиняється в іншому елементі і при кристалізації зберігається однорідність розподілу атомів елементів у сплаві. З цих атомів будується єдина кристалічна решітка.

У вузлах кристалічної решітки частина атомів одного з елементів може бути заміщена атомами другого елемента, тоді одержується твердий розчин заміщення. Коли атоми одного елемента розподіляються в іншому елементі і не вбудовані в кристалічну решітку, тоді утворюється твердий розчин впровадження. Хімічні сполуки виникають у разі протікання хімічної реакції між компонентами сплаву. В результаті утворюється кристалічна решітка, яка відрізняється від кристалічних решіток окремих елементів.

У стані сплавів виділяють окремі частини, котрі мають назву фази. Фаза є однорідною частиною сплаву, яка має певний склад, властивості і відділена від других частин поверхнями розподілу. У сукупності фази утворюють систему, наприклад, сплав. У системі фази знаходяться у рівновазі при певному тиску і температурі. Тоді системи можуть бути однофазні, багатфазні.

Для вивчення стану сплавів будують діаграми стану. Діаграми стану – це графічне зображення стану сплавів залежно від температури і концентрації компонентів сплавів. Такі діаграми стану характеризують рівноважний стан сплавів.

Діаграми стану використовують для дослідження перетворень у сплавах, які проходять у них при нагріванні та охолодженні. Це має важливе практичне значення для процесів технологічної обробки сплавів.

Виділяють чотири типи діаграм стану. Перший тип діаграм стану характеризується тим, що компоненти сплаву в твердому стані повністю нерозчинені один у одному. Це значить, що утворюється механічна суміш. Другий тип діаграм стану характеризує утворення у сплаві твердого

розчину, тобто компоненти сплаву безмежно розчинені в твердому стані один у одному. Третій тип діаграм стану стосується сплавів, у котрих компоненти сплавів обмежено розчинені один у одному. Це вказує на утворення механічної суміші і твердого розчину. Четвертий тип діаграм характеризує сплави, компоненти яких вступають у хімічні взаємодії і утворюють хімічні сполуки.

Прикладом двокомпонентних сплавів, які описуються діаграмами стану першого типу, є сплав свинець-сурма. У даній лабораторній роботі на основі експериментальних даних пропонується побудувати діаграму стану такого сплаву. Для цього, насамперед, проводять вивчення діаграми стану сплаву свинець-сурма. Крім того, вказують практичне значення діаграми стану сплаву свинець-сурма. За допомогою діаграми стану визначають кількість рідкої та твердої фази у сплаві, який вміщує, наприклад, 60 % сурми.

Для проведення дослідження розглядають діаграму стану сплаву свинець-сурма [22]. Така діаграма наведена на рис. 7.

На діаграмі стану свинець-сурма лінія ABC є лінією ліквідусу. Лінія KBM є лінією солідусу. Вище від лінії ABC сплав перебуває у рідкому стані.

На лінії ABC розпочинається процес кристалізації компонентів сплаву. На ділянці AB лінії ліквідусу із рідкого сплаву йде кристалізація свинцю, а на ділянці BC проходить виділення кристалів сурми.

У результаті між лініями AB і KB у сплаві присутні рідка фаза та кристали свинцю. Між лініями BC і BM знаходяться кристали сурми та рідка фаза.

На лінії солідусу, KBM, розпочинається процес евтектичного перетворення. Із рідкого сплаву одночасно кристалізується механічна суміш кристалів свинцю і сурми. Така суміш є евтектикою. У точці евтектики, В, утворюється евтектичний сплав. Діаграма стану вказує на склад такого сплаву.

Діаграма стану на рис. 7 дозволяє характеризувати склад усіх сплавів свинець-сурма, які утворюються у разі повного вільного охолодження.

Для визначення кількості фаз у сплаві заданого складу використовується правило важеля [22]. Спочатку на діаграмі стану встановлюється перпендикуляр із точки на осі концентрації, котра відповідає концентрації 60 %.

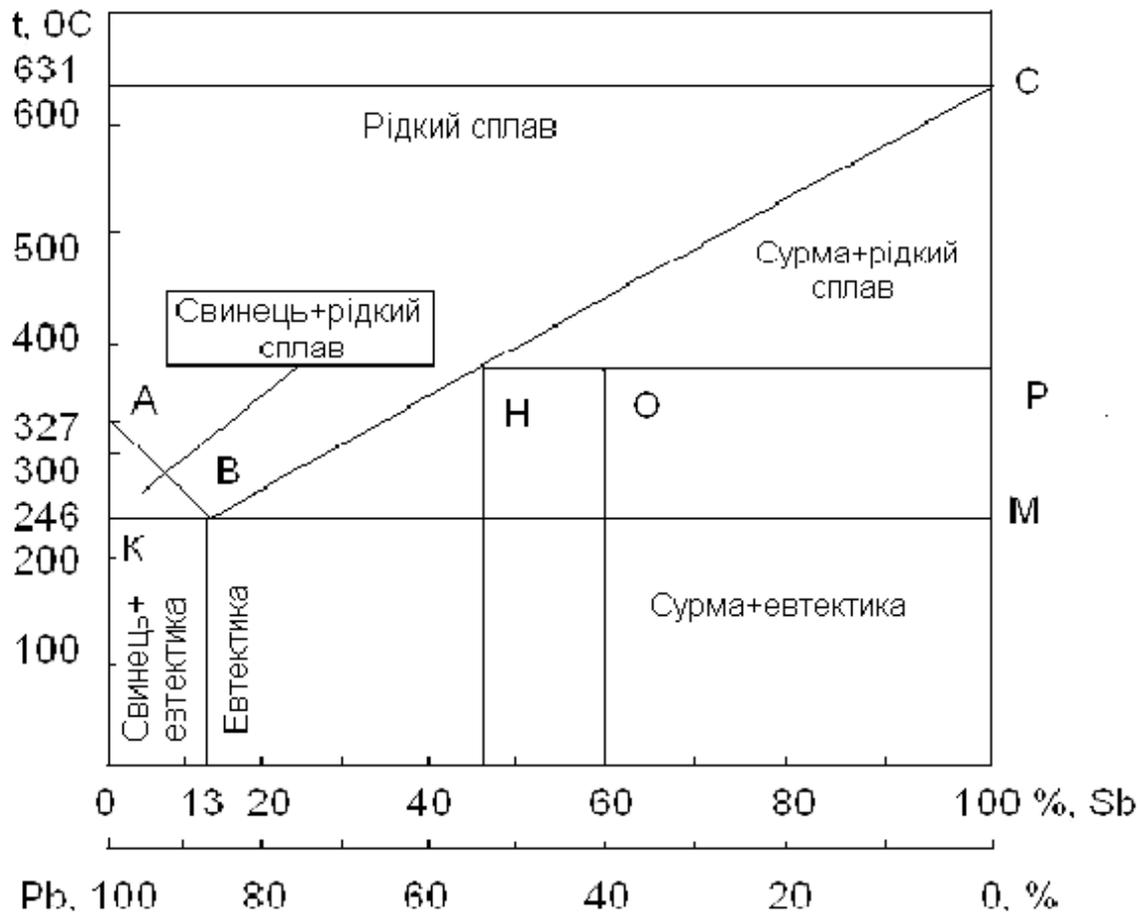


Рис. 7. Діаграма стану сплаву свинець-сурма

Далі проводиться горизонтальна лінія до перехрещення з перпендикуляром та лініями діаграми. Точка перетину з лінією ліквідусу, Н відповідає рідкій фазі, а точка Р характеризує тверду фазу в дослідженому сплаві.

Кількість твердої фази визначається відношенням довжини плеча важеля, яка примикає до рідкої фази, до довжини всього важеля, тобто відрізка НО до відрізка НР. Кількість рідкої фази дорівнює відношенню довжини плеча ОР, яка примикає до твердої фази, до довжини важеля, НР. Це дозволяє зробити такі розрахунки:

$$\text{Тверда фаза} = \frac{13}{53} \cdot 100\% = 24,53\% \quad (5)$$

$$\text{Рідка фаза} = \frac{40}{53} \cdot 100\% = 75,47\% \quad (6)$$

Таким чином, у дослідженому сплаві присутня значна кількість рідкої фази. Діаграма стану підтверджує, що в області між лініями ВС і VM у сплавах знаходяться рідка фаза та кристали компонентів сплаву.

3.2. Порядок проведення роботи

Для одержання кривих охолодження і побудови діаграми стану системи свинець-сурма спочатку беруть проби, які вміщують різні кількості свинцю і сурми. Для складання проб пропонуються концентрації свинцю і сурми, котрі наведені у табл. 4.

Таблиця 4

Концентрації свинцю і сурми для виготовлення проб

Назва компонента	Концентрація компонента, % мас.					
Свинець	100	95	90	87	80	0
Сурма	0	5	10	13	20	100

На технічних вагах із точністю до 0,1 г відважують свинець і сурму у відсотковому відношенні, яке відповідає табл. 4. З одержаних навісок свинцю і сурми складають проби. Ці проби переносять в ампули, котрі запаюють.

Паралельно з приготуванням проб включають електричну піч і виводять піч на режим. Температура в печі повинна бути не менше 700 – 800 °С.

Ампули з різними концентраціями свинцю і сурми поміщають в електричну піч і витримують до повного розплавлення речовин. Це відбувається протягом 10 – 15 хвилин. Після витримування у печі ампули за допомогою пристрою виймають із печі і встановлюють у керамічні тиглі. В тиглях проходить охолодження ампул. За допомогою термометрів контролюють температуру охолодження через 5 – 7 хвилин. За одержаними результатами охолодження систем свинцю і сурми у різних ампулах будують криві охолодження. Такі криві дають точки фазових переходів, тобто критичні точки. Криві охолодження вказують початок і кінець кристалізації. На основі даних кривих охолодження будують діаграму стану сплаву свинець-сурма. За допомогою діаграми стану визначають кількість рідкої та твердої фази у сплаві, який вміщує 50 % мас. сурми.

Усі результати експерименту заносяться в лабораторний журнал і дається висновок щодо практичного значення діаграм стану.

Наступною системою дослідження є система, котра включає нафталін і дифеніламін (ДФА). Складають проби системи нафталін-ДФА з різними концентраціями компонентів, подібно до даних роботи [15]. Відсоткові співвідношення нафталіну і ДФА у пробах наведені у табл. 5.

Таблиця 5

Концентрації нафталіну і дифеніламіну для виготовлення проб

Назва компонента	Концентрація компонента, % мас.										
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Нафталін	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
ДФА	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Відповідно до даних табл. 5 на технічних вагах із точністю до 0,1 г відважують нафталін і ДФА. Одержані навіски нафталіну та ДФА переносять у скляні пробірки. Ці пробірки розміщують у киплячій водянній бані. В бані витримують пробірки до повного розплавлення нафталіну і ДФА.

Як тільки закінчується розплавлення речовин у пробірках, у кожену пробірку розміщують термометр таким чином, щоб кулька термометра була розташована у середині розплаву. Далі пробірки переносять у термостат. Термостат – це посудина, у якій знаходиться термостатована рідина, за допомогою якої охолоджують пробірки. У процесі охолодження пробірок через кожні 15 – 25 секунд фіксують зміну температури розплавів. Нагляд за зміною температури проводять до повного затвердіння розплаву у пробірках. Для одержання точних результатів розплавлення нафталіну і ДФА в пробірках на водянній бані та охолодження пробірок у термостаті проводять не менше трьох разів.

На основі одержаних результатів будують графіки кривих охолодження досліджених проб системи нафталін-ДФА. Криві охолодження, котрі відповідають чистим нафталіну і ДФА, мають по одній температурній зупинці. Такі температури характеризують температури кристалізації (плавлення). Для останніх проб системи нафталін-ДФА за точку плавлення приймають температурну точку перегинання. Така точка відповідає плавленню перших кристалів компонента, котрий знаходиться в надлиш-

ку. Нижче точки перегинання на кривій охолодження існує площадка, яка відповідає зниканню рідкої фази і кристалізації евтектичного складу.

За графіками кривих охолодження визначають температури плавлення (кристалізації) досліджених проб системи нафталін-ДФА. Одержані дані застосовують для побудови діаграми стану системи нафталін-ДФА. Для цього за ординатою відкладають температуру плавлення проб системи нафталін-ДФА, за абсцисою – склад проби. Точки на графіку діаграми стану з'єднують кривими лініями. За допомогою діаграми стану визначають кількість рідкої та твердої фаз у пробі системи, яка вміщує, наприклад, 15 % мас. ДФА.

3.3. Контрольні запитання для захисту лабораторної роботи

1. Чому для виготовлення деталей механізмів і машин застосовують металеві сплави, а не чисті метали? Що таке металевий сплав?

2. Які компоненти металевого сплаву? Які сполуки утворюються у разі взаємодії компонентів металевого сплаву?

3. Як утворюється механічна суміш при взаємодії компонентів сплаву? Охарактеризувати кристалічну решітку сплаву.

4. За рахунок якого процесу йде утворення твердого розчину? Які тверді розчини можуть утворюватися у сплаві?

5. Яким шляхом з'являються хімічні сполуки у сплаві? Як утворюється кристалічна решітка такого сплаву?

6. Охарактеризувати поняття "фаза". Що утворюють у сукупності фази?

7. Розкрити поняття "діаграма стану". З якою метою будують і вивчають діаграми стану?

8. Скільки існує типів діаграм стану? У чому особливості кожного типу діаграм стану?

9. До якого типу діаграм стану відноситься діаграма стану сплаву свинець-сурма? Охарактеризувати діаграму стану такого сплаву.

10. За допомогою діаграми стану свинець-сурма вказати порядок визначення кількості фаз у сплаві.

11. Яке обладнання необхідно для проведення лабораторної роботи? Які системи досліджують у лабораторній роботі?

12. Який порядок проведення лабораторної роботи? Які експериментальні дані одержують у процесі роботи?

13. Як будують криві охолодження і діаграми стану сплавів?

Змістовний модуль 2. Полімерні, композиційні та порошкові матеріали. Елементи теоретичної механіки

Лабораторна робота № 4. Вивчення методів визначення твердості матеріалів

Обладнання та матеріали: зразки матеріалів, які застосовують для визначення твердості, стандарт щодо визначення твердості матеріалів.

4.1. Характеристика методів визначення твердості матеріалів

Серед механічних випробувань визначення твердості є метод, який широко використовується для дослідження матеріалів. Визначення твердості дозволяє швидко проводити контроль металевих сплавів і неметалевих матеріалів. Особливе значення воно відіграє у процесі дослідження поверхневих шарів матеріалів.

Твердість характеризує здібність матеріалів перешкоджати проникненню в нього більш твердого тіла, котре має назву індентора [2; 17; 24]. Як індентор застосовують сталюну кульку, алмазний конус або піраміду. Залежно від індентора розроблено методи визначення твердості матеріалів. Такими методами є метод Бринелля, метод Роквелла, метод Віккерса.

Метод Бринелля застосовують для випробування металевих сплавів і неметалевих матеріалів. Він заснований на використанні сталюї кульки, яку під дією навантаження втискають у зразок матеріалу. В результаті втиснення кульки в матеріал утворюється відбиток [20]. Схема втиснення кульки в матеріал наведена на рис. 8.

Для вимірювання діаметра відбиток від сталюї кульки застосовують лупу для вимірювання. Лупа дозволяє вимірювати діаметр відбитку з точністю $\pm 0,25$ [17; 24]. Діаметр відбитку вимірюють у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Втиснення сталюї кульки здійснюється за допомогою вантажів механічного або гідравлічного пресу.

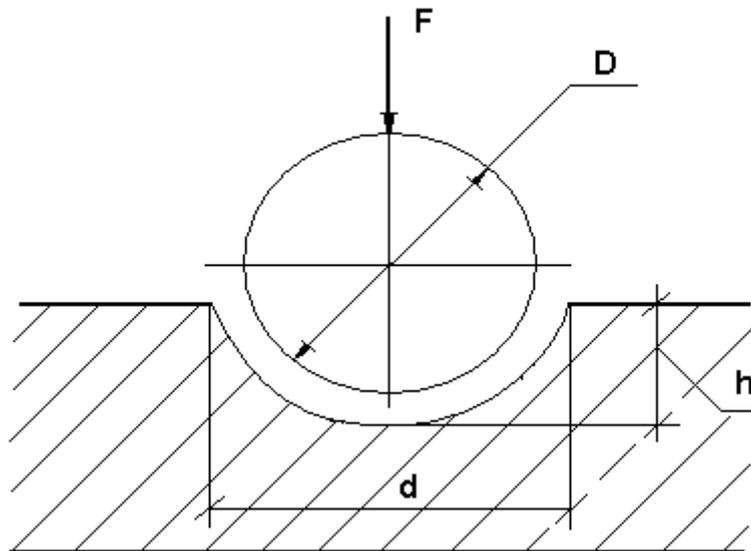


Рис. 8. Схема утворення відбитку в зразку матеріалу в результаті втиснення сталльної кульки:
F – навантаження; D – діаметр сталльної кульки; d – діаметр відбитку; h – глибина відбитку

Величина твердості за методом Брінелля дорівнює відношенню величини сили, яка діє на кульку, до величини площі сферичного відбитку. У разі використання сталльної кульки твердість за методом Брінелля позначають HB і визначають за формулою:

$$HB = \frac{F}{S} \text{ [кгс / мм}^2 \text{]}; \quad HB = \frac{0,102F}{S} \text{ [Н / мм}^2 \text{]}. \quad (7)$$

Площу поверхні відпечатку знаходять за формулою:

$$S = \pi \cdot D \cdot h \text{ [мм}^2 \text{]}. \quad (8)$$

Якщо замість сталльної кульки використовують кульку із твердого сплаву, тоді твердість за методом Брінелля позначають HBW. Буква W вказує на присутність вольфраму у сплаві, із якого зроблена кулька. Відповідно до стандарту діаметр кульки складає 1; 2,5; 5; 10 мм.

У процесі визначення твердості глибину сферичного відбитку знайти важче, ніж діаметр відбитку. Тому на практиці глибину відбитку

визначають за величинами діаметрів кульки і діаметра відбитку. В результаті формула для розрахунку площі поверхні відбитку набуде вигляду:

$$S = \frac{\pi \cdot D \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}{2} \text{ [мм}^2 \text{]}. \quad (9)$$

Відповідно до стандарту величину твердості за методом Брінелля позначають тризначним числом. Далі пишуть символ HB або HBW, діаметр кульки, величину навантаження і тривалість дії навантаження, якщо вона перевищує 10 – 15 с.

У разі використання сталюї кульки діаметром 5 мм твердість записують з вказівкою діаметра кульки і навантаження. Наприклад, твердість матеріалу 180 HB 5 / 750. Якщо для випробування застосовують кульку діаметром 10 мм і величина навантаження складає 29 420 Н, тоді у позначенні твердості вказують величину твердості і символ. Наприклад, твердість 560 HBW. Це означає, що твердість за методом Брінелля дорівнює 560 і визначена з використанням кульки із твердого сплаву [19].

Встановлена залежність між величиною твердості за методом Брінелля і тимчасовим опором металевих сплавів. Ця залежність визначена для сталей, мідних, алюмінієвих сплавів [17; 24]. Також існує залежність між числом твердості у кгс / мм² і граничною витривалістю. За величиною сферичного відбитку можливо охарактеризувати пластичність матеріалів.

Однак за допомогою методу Брінелля неможливо визначити твердість матеріалів більш 450 HB, а також вимірювати твердість тонких поверхневих шарів товщиною менше 1 – 2 мм.

Для визначення високої твердості використовують методи Роквелла і Віккерса. Висока твердість характерна для сталюних виробів в об'ємі та поверхневому шарі. В об'ємі твердість забезпечує якість виробам у цілому, а в поверхневому шарі – зносостійкість. У разі вибору методу враховують товщину шару зразка металевого сплаву, допущені розміри відбитку для поверхні зразка. Такі вимоги пов'язані з тим, що в методі Роквелла проводять втиснення алмазного конуса, в методі Віккерса – алмазної піраміди.

Для здійснення методу Роквелла використовують один пристрій. Тривалість проведення експерименту не перевищує однієї хвилини. Зна-

чення твердості зразу визначають за шкалою прибору. Відбитки від алмазного конуса не впливають на якість виробів.

Залежно від величини твердості в методі Роквелла використовують поряд з алмазним конусом стальну кульку. Визначення високої твердості потребує використання алмазного конусу. Навантаження в методі Роквелла складається з попередньої сили і основної сили. За допомогою індикатора визначають глибину проникнення конусу або кульки в матеріал.

Твердість за методом Роквелла є безрозмірною величиною. Її позначають HR. До цього позначення додають позначення певної шкали. Прийнято три шкали: А, В, С. Шкали А і С призначені для високої твердості, шкала В – для невисокої твердості [14; 17; 24]. В кожній шкалі застосовують певні навантаження, котрі наведені у табл. 6.

Таблиця 6

Значення величин навантаження в методі Роквелла в ньютонах (кГс) за шкалами А, В, С

Найменування навантаження	Шкала		
	А	С	В
Попереднє	98 (10)	98 (10)	98 (10)
Основне	490 (50)	1 373 (140)	883 (90)
Загальне	588 (60)	1 471 (150)	981 (100)

Дані табл. 6 вказують, що вибір навантаження в методі Роквелла залежить від попередньої оцінки природи матеріалу. В результаті приймають певну шкалу визначення твердості матеріалу. Шкалу А застосовують у разі визначення твердості тонких шарів, тонких виробів. За шкалою С визначають високу твердість матеріалів, а за шкалою В – помірну твердість матеріалів. Відповідно до даних робіт [2; 17; 24] границі вимірювання твердості складають: за шкалою А, HRA = 70-85; за шкалою С, HRC = 20-67; за шкалою В, HRB = 25-100.

У методі Роквелла товщина зразка в вісім разів повинна перевищувати остатню глибину від втиснення стальної кульки або алмазного конуса. У процесі проведення випробування навантаження підвищують поступово. Напрямок дії навантаження спрямований перпендикулярно

до поверхні зразка. Після випробування на протилежній стороні зразка не повинно бути ніяких слідів від випробування. Основне навантаження знімають через дві секунди. У разі випробування пластичних матеріалів навантаження знімають через 5 – 6 секунд.

За допомогою методу Роквелла можна вимірювати твердість криво-лінійних поверхонь, однак вводиться обмеження: радіус кривизни повинен бути не менше 15 мм.

Для визначення високої твердості застосовують метод Віккерса. Цей метод дозволяє вимірювати твердість м'яких і твердих сплавів із малим перетином і тонких спеціальних покриттів. Метод Віккерса заснований на втисненні у поверхню зразка чотиригранної призми. В основі призма має квадратну форму. Величина навантаження в методі Віккерса складає в кГс: 5, 10, 20, 30, 50, 100 [2; 17; 24]. Невелика величина навантаження в методі Віккерса дозволяє знаходити твердість тонких виробів. Після зняття навантаження вимірюють діагональ відбитку. Схема визначення твердості наведена на рис. 9.

Величина твердості за методом Віккерса позначають HV. Цю величину знаходять шляхом відношення навантаження до площі бокової поверхні відбитку за формулою:

$$HV = \frac{2F \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2}. \quad (10)$$

З формули видно, що розмірність твердості в методі Віккерса виражається в кГс/мм² і МПа.

За допомогою методу Віккерса визначають твердість сплавів до тисячі одиниць. До 450 одиниць твердість за методами Брінелля і Віккерса співпадають.

Необхідно зазначити, що у разі застосування методу Віккерса для дослідження чорних металів товщина зразка повинна бути не менше ніж у 1,5 – 2 рази більше довжини діагоналі відбитку і в 1,2 – 1,5 рази більше – при дослідженні кольорових металів. Діагональ відбитку повинна складати не менше 0,1 мм. Навантаження спрямовують перпендикулярно до поверхні зразка.

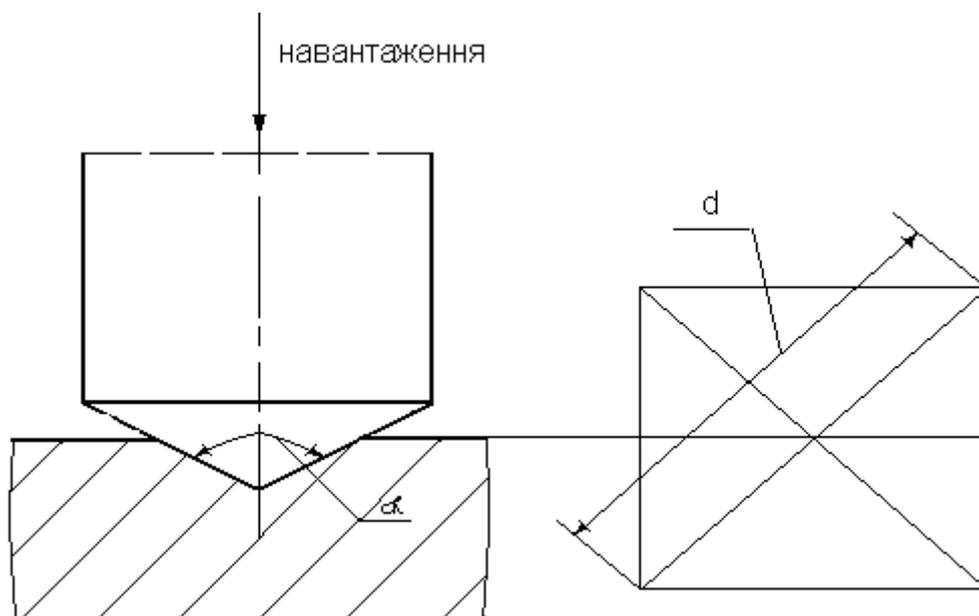


Рис. 9. Схема утворення відбитку від алмазної призми в методі Віккерса:

d – середньоарифметична величина двох діагоналей;

α – кут між протилежними гранями при вершині призми. Величина кута дорівнює 136°

4.2. Порядок проведення роботи

Робота передбачає визначення твердості матеріалів. Встановлення твердості матеріалів за методом Брінелля проводять відповідно до варіантів вихідних даних, котрі наведено в табл. 7.

Таблиця 7

Вихідні дані для визначення твердості за методом Брінелля

Варіант	K – коефіцієнт, який пов'язаний з природою матеріалу та його твердістю	Діаметр кульки, D , мм	Діаметр відбитку, мм
1	2	3	4
1	1	2,5	0,6 D
2	1	5	0,5 D
3	1	10	0,45 D

1	2	3	4
4	2.5	2.5	0,5 D
5	2.5	5	0,45 D
6	2.5	10	0,4 D
7	5	2,5	0,45 D
8	5	5	0,4 D
9	5	10	0,35 D
10	10	2,5	0,4 D
11	10	5	0.35 D
12	10	10	0,3 D
13	15	10	0,3 D
14	30	2.5	0,35 D
15	30	5	0,3 D
16	30	10	0,25D

На основі даних табл. 7, насамперед, визначають площу поверхні відбитку. Далі за величиною коефіцієнта К в табл. 8 встановлюють величину сили, яка діє на кульку.

Таблиця 8

Дані величини сили, яка діє на кульку

Діаметр кульки, мм	Величина сили, Н (кГс)					
	К = 1	К = 2,5	К = 5	К = 10	К = 15	К = 30
2,5	60,8 (6,2)	153 (15.6)	306 (31,2)	612,9 (62,5)	-	1 839 (187,5)
5	245,2 (25)	612,9 (62,5)	1 226 (125)	2 452 (250)	-	7 355 (750)
10	980,7 (100)	2 452 (250)	4 903 (500)	9 807 (1 000)	14 710 (1 500)	29 420 (3 000)

За результатами даних табл. 8 і за допомогою формули 7 визначають твердість матеріалу у відповідному варіанті. На основі величини твердості матеріалу і коефіцієнта К за допомогою літературних джерел [11; 14; 17] встановлюють матеріал.

Для визначення твердості матеріалу за методом Роквелла використовують залежність між твердістю за методом Брінелля і твердістю за методом Роквелла [2; 20; 24]. Така залежність наведена у табл. 9.

Таблиця 9

Величини твердості матеріалів за методом Брінелля і за методом Роквелла

Твердість за Брінеллем, HB	Твердість за Роквеллом			Твердість за Брінеллем, HB	Твердість за Роквеллом	
	Шкала С HRC	Шкала А, HRA	Шкала В, HRB		Шкала С, HRC	Шкала А, HRA
1	2	3	4	5	6	7
262	27	64	-	780	72	89
255	26	64	-	745	70	87
248	25	63	-	712	68	86
241	24	63	100	682	66	85
235	23	62	99	653	64	84
228	22	62	98	627	62	83
223	21	61	97	601	60	82
217	20	61	97	578	58	81
212	19	60	96	555	56	79
207	18	60	95	534	54	78
202	16	59	94	514	52	77
196	15	58	93	495	50	76
192	-	57	92	477	49	76
187	-	56	91	461	48	75
183	-	56	89	444	46	74
1	2	3	4	5	6	7
179	-	55	88	429	45	73
174	-	-	87	415	44	72
170	-	-	86	409	43	72
166	-	-	85	401	42	71
163	-	-	84	388	41	71
159	-	-	83	377	40	70
156	-	-	82	363	39	70
153	-	-	81	352	38	69
149	-	-	80	341	37	68
146	-	-	79	331	36	68

1	2	3	4	5	6	7
143	-	-	78	321	35	67
140	-	-	77	311	34	67
137	-	-	76	302	33	67
134	-	-	74	293	31	66
131	-	-	72	286	30	66
128	-	-	71	277	29	65
126	-	-	70	269	28	65

На основі величин твердості матеріалу, знайдених за методами Брінелля і Роквелла, визначають коефіцієнт переводу значення твердості за допомогою формули:

$$HB = K \cdot HRC . \quad (11)$$

4.3. Контрольні запитання для захисту лабораторної роботи

1. Яке значення має визначення твердості для різних матеріалів? Які методи застосовують для визначення твердості матеріалів?
2. У чому суть визначення твердості за методом Брінелля? Для яких матеріалів використовують метод Брінелля?
3. Як розраховують і позначають твердість за методом Брінелля? У яких випадках не застосовують метод Брінелля? З якими механічними характеристиками пов'язана твердість за методом Брінелля?
4. Для яких матеріалів застосовують метод Роквелла? У чому сутність методу Роквелла та відмінність від методу Брінелля?
5. Як позначають твердість за методом Роквелла? Скільки шкал застосовують у методі Роквелла?
6. На чому засноване визначення твердості за методом Віккерса? Для визначення якої твердості використовують цей метод?
7. Які обмеження застосування методу Віккерса? Як пов'язані значення величин твердості за методами Віккерса і Брінелля?
8. Який порядок визначення твердості за методом Брінелля? Яке значення в роботі має коефіцієнт, котрий зв'язує природу матеріалу з його твердістю?

9. Як знаходять твердість матеріалу за методом Роквелла за даними результатів визначення твердості за методом Брінелля?

10. У яких одиницях вимірювання позначається твердість у методах Брінелля, Роквелла, Віккерса?

11. Що таке індентор? Які індентори застосовують у кожному методі визначення твердості матеріалів?

Лабораторна робота № 5 Вивчення принципів класифікації та маркування металевих сплавів

Обладнання та матеріали: стандарти на марки сталей, чавунів, сплавів кольорових металів.

5.1. Основи класифікація та маркування металевих сплавів

Сталі класифікують за хімічним складом, способом виробництва, напрямом застосування [11; 14; 17]. Відповідно до класифікації за хімічним складом сталі підрозділяють на вуглецеві, хромисті, а також складні сталі, такі, як хромонікелеві. Ця класифікація застосовується для конструкційних сталей. Для легованих сталей така класифікація використовується рідко.

Класифікація за способом виробництва визначає умови та контролю сталей. В цієї класифікації виділяють сталі звичайної якості або загального призначення, сталі якісні, високоякісні, особливо високоякісні сталі.

Сталі загального призначення за хімічним складом є вуглецеві сталі, які містять до 1,6 % мас. вуглецю. Вміст сірки досягає 0,05 – 0,06 % мас., а вміст фосфору – 0,04 – 0,07 % мас. За механічними властивостями ці сталі поступаються сталям інших класів. Залежно від призначення такі сталі підрозділяють на три групи: А, Б, В. Сталі групи А, Ст0 – Ст6, поставляють заводи за механічними властивостями. Сталі групи Б, БСт0 – БСт6, поставляють за хімічним складом. Сталі групи В поставляють за хімічним складом і механічними властивостями і підрозділяють на категорії 1-6, тобто ВСт1 – ВСт6.

Залежно від ступеня розкислення сталі зального призначення підрозділяють на спокійні, напівспокійні, кип'ячі. Спокійні сталі позначають – сп, напівспокійні – пс, кип'ячі – кп. Наприклад, СТЗпс, Ст5сп, Ст1кп.

У якісних сталях вміст сірки і фосфору не перевищує 0,035 % мас. Вміст вуглецю не перевищує 0,08 % мас. За хімічним складом до цих сталей відносять вуглецеві і леговані сталі, які одержують в кисневих конвертерах. Такі сталі виробляють як спокійні, напівспокійні, поставляють у вигляді аркушів, призначені для глибокої витяжки.

Високоякісні сталі за хімічним складом включають леговані сталі. Вміст сірки і фосфору не перевищує 0,025 % мас. Вміст вуглецю не перевищує 0,07 % мас.

Особо високоякісні сталі містять сірку і фосфор у кількості не більше 0,015 % мас., а вуглець у кількості не більше 0,07 % мас. Ці сталі мають високу в'язкість, пластичність.

Сталі за способом виробництва маркують таким чином. Вміст вуглецю вказують перед маркою сталі у сотих частках відсотків, якщо вміст не перевищує 0,07 % мас. і в десятих частках, якщо вміст вуглецю не перевищує 0,7 % мас. Цифра, яка характеризує вміст вуглецю, відповідає середній кількості вуглецю в сталях. Тоді сталі, які містять 0,07 – 0,14 % мас. вуглецю, 0,42 – 0,5 % мас. вуглецю, 0,95 – 1,05 % мас. вуглецю, відповідно позначають як сталь 10, сталь 45, сталь У10. Леговані елементи в сталях позначають: Н (нікель), К (кобальт), Г (марганець), Х (хром), М (молібден), Ю (алюміній), С (кремній), Ф (ванадій), Р (бор), Б (ніобій), А (азот). Ці букви пишуть після вмісту вуглецю. Якщо після букви немає цифри, тоді вміст легованого елемента в сталі складає 0,5 – 1,5 % мас. Якщо вміст легованого елемента більше 1,5 % мас., тоді цифра після букви вказує вміст елемента в відсотках. Винятки складають молібден і ванадій. Вміст цих елементів дорівнює 0,1 – 0,3 % мас. [11; 14; 17].

Різниця в позначенні якісних і високоякісних сталей в тому, що в кінці позначення високоякісних сталей пишуть букву А. Наприклад, інструментальні сталі високої твердості У12 і У12А.

Подібний підхід застосовують для позначення особливо високоякісних, кулькопідшипникових, ріжучих сталей. В позначенні таких сталей відповідно пишуть букву Ш, ШХ, Р.

Однак інструментальні леговані високоякісні сталі, сплави з високими фізичними властивостями буквою А не позначають.

Класифікація сталей за призначенням виділяє такі класи сталей: будівельні, машинобудівельні (конструкційні), машинобудівельні спеціального призначення, інструментальні з особливими фізичними і хімічними властивостями.

До будівельних сталей відносять вуглецеві і низьколеговані сталі з невеликим вмістом вуглецю. З вуглецевих сталей застосовують сталі звичайної якості. Так, для будівельних конструкцій використовують Ст 1 кп., для анкерних болтів, заклепок, труб – сталь Ст 1 сп, сталь Ст 2 сп, сталь Ст 2 пс.

Із таких низьколегованих сталей, як будівельні сталі, застосовують: 14Г2 – для зварювання, 18Г2С – для виготовлення арматури різного профілю, 16Г2АФ – проти корозії, 15ХСНД – для виготовлення конструкцій мостів, будівельних ферм.

Машинобудівельні (конструкційні) сталі загального призначення відрізняються один від одного вмістом вуглецю і легованих елементів. Вміст вуглецю в цих сталях складає 0,05 – 0,65 % мас.

Залежно від властивостей, призначення машинобудівельні сталі розподіляють на сталі, які застосовують без термічної обробки деталей і сталі, які зміцнюють за всім перетином. За хімічним складом у першу групи входять вуглецеві і низьколеговані сталі. Вуглецеві сталі містять невелику кількість кремнію. В цю групу входять сталі, наприклад: 10 кп, 15 кп, Ст 3. Такі сталі призначені для обробки методами пластичної деформації. Друга група машинобудівельних сталей включає: цементовані сталі (15х, 20, 15ХА, 15ХФ, 12Х2Н4А); сталі, які зміцнюють поверхневим гартуванням при індукційному нагріві (55, 45Х, 60); сталі зниженого прожарювання, які зміцнюють поверхневим гартуванням при глибинному індукційному нагріві (40ХС, 58ПП); сталі регламентованого прожарювання (47ГТ), азотовані сталі (38Х2МЮА).

Машинобудівельні сталі спеціального призначення включають мартенситностаріючі сталі (особо великої міцності, в'язкості); сплави для роботи при підвищених температурах, при низьких температурах; зносостійкі сталі; пружинні сплави; автоматні сталі.

Мартенситностаріючі сталі містять дуже малу кількість вуглецю. Вони включають особливо високоякісні сталі, які мають високу міцність, в'язкість та стійкість проти корозії. Такі сталі використовують для виробництва валів, шестерень, хімічної апаратури.

Сплави для роботи при підвищених температурах розподіляють за хімічним складом і властивостями на жаростійкі та жароміцні. Жаростійкі сталі включають сталі, які стійкі до окислювального середовища і сталі, котрі стійкі до окислювального середовища і науглецьованого середовища. В першу групу входять сталі марок: 40Х9С2, 12Х17, 30Х13Н7С2.

До другої групи входять сталі марок 20Х20НКС. Жароміцні сталі застосовують залежно від температури. Наприклад, при температурі 400 – 550 °С використовують сталі 12Х1МФ, 25Х1МФ, при температурі 500 – 600 °С – 40Х10С2М, 20Х13, при температурі 600 – 650 °С – 12Х18Н9Т. Жароміцні сталі застосовують для виготовлення деталей обладнання, яке працює при температурі більше 450 °С.

Для роботи при низьких температурах використовують сталі феритного класу (ОН6, ОН9) й аустенітного класу (хромонікелеві сталі – 08Х18Н10Т, хромонікельмарганцеві сталі – 10Х14Г14Н4Т).

Зносостійкі сталі включають сталі, які призначені для роботи в умовах кавітаційної ерозії (12Х18Н9Т), в умовах динамічних навантажень (Г13). Сталь марки 10Х14АГ15 має підвищену кавітаційну, корозійну, абразивну стійкість.

Пружинні сталі розподіляють на сталі з високими механічними властивостями і сталі з додатковими фізичними та хімічними властивостями. До першої групи відносять вуглецеві сталі марок 70, 75, леговані сталі марок 60С2, 65С2ВА. Другу групу становлять корозійностійкі, немагнітні матеріали.

Автоматні сталі включають підвищену кількість сірки, фосфору, марганцю. Ці сталі призначені для виготовлення деталей методом різання. Такі деталі можуть працювати в умовах відсутності динамічних навантажень. Для підвищення продуктивності різання в склад сталей вводять свинець. Маркування автоматних сталей включає букву А перед цифрою вмісту вуглецю. Якщо в складі сталей присутній свинець, то пишуть букви АС [11; 14; 17].

Класифікація сталей за призначенням також включає інструментальні сталі. Такі сталі мають високі механічні властивості: міцність, твердість, зносостійкість. Інструментальні сталі розподіляють на нетермостійкі, напівтермостійкі, термостійкі. В першій групі виділяють сталі високої твердості: У10, У11, У10А, У11А, 13Х, 9ХФ; сталі підвищеної в'язкості: У7, 8ХФ.

Напівтермостійкі сталі розподіляють на сталі високої твердості, помірної термостійкості при підвищеної в'язкості, середньої термостійкості, підвищеної термостійкості, підвищеної в'язкості.

Відповідно до класифікації за призначенням виділяють сталі та сплави з особливими фізичними і хімічними властивостями. Сплави з особливими фізичними властивостями одержують при термічній обробці та ле-

гуванні. У разі легування нікелем, кобальтом, хромом, міддю одержують сплави з малим коефіцієнтом розширення. Кремнісні, трансформаторні, динамні сталі мають високу магнітну проникність. Сплави заліза з хромом і нікелем, заліза з хромом і алюмінієм відрізняються високим електроопором. Вказані сплави застосовують в електротехніці, виробництві приладів.

Сталі та сплави з особливими хімічними властивостями стійкі до корозії. Насамперед, до цих сплавів відносять нержавіючі сталі, мідні сплави, сплави, які містять алюміній. Із таких сплавів виробляють хімічну апаратуру, конструкції, котрі експлуатують в агресивних середовищах.

До сплавів заліза з вуглецем відносять чавуни. Виділяють такі типи чавунів залежно від кількості вуглецю, котрий пов'язаний у цементит: білий чавун, половинчастий чавун, сірий чавун. Сірий чавун підрозділяють на сірий перлітний чавун, феритно-перлітний чавун, феритний чавун.

У білому чавуні увесь вуглець пов'язаний в цементит. Його структура: цементит, перліт, ледебурит. З білого чавуну виробляють ковкий чавун шляхом випалювання. Ковкі чавуни маркують буквами К і Ч. Далі вказують значення мінімального часового опору. До перлітних ковких чавунів відносять чавуни марок КЧ50-5, КЧ55-4. Прикладом феритно-перлітних ковких чавунів є чавун марки КЧ45-7, а феритних чавунів – чавуни марок КЧ35-10, КЧ37-12. У половинчастому чавуні основна частина вуглецю пов'язана в цементит. Структура такого чавуну містить пластинчатий графіт, перліт, ледебурит.

Сірі чавуни маркують буквами С і Ч. Після них вказують мінімальне значення часового опору. У сірому перлітному чавуні вміст вуглецю складає 0,7 – 0,8 % мас. у вигляді цементиту, котрий входить до перліту. Структура цього чавуну містить пластинчатий графіт, перліт. Прикладом перлітних чавунів є чавуни марок СЧ21, СЧ 25, СЧ30, СЧ35. Феритно-перлітні сірі чавуни (СЧ18, СЧ20) містять вуглець у зв'язаному стані. У структурі таких чавунів присутні пластинчатий графіт, ферит, перліт. Феритні чавуни (СЧ10, СЧ15) містять вуглець у вигляді графіту. Їх структура включає пластинчатий графіт, ферит.

Високоміцні чавуни містять графіт шароподібної форми. Їх позначають буквами В і Ч. До феритних високоміцних чавунів відносять чавуни марок ВЧ42-12, ВЧ38-17. Прикладом перлітно-феритних чавунів є чавун марки ВЧ45-5, а перелітно-металевих – ВЧ70-3, ВЧ80-3.

Для роботи в умовах тертя використовують антифрикційні чавуни з шароподібним вуглецем марок АЧВ-1(перлітна структура), АЧВ-2 (феритно-перлітна структура).

На властивості чавунів впливає кількість, розподілом графітних включень. Чавуни мають температуру плавлення на 300 – 400 °С менше ніж у сталей. Крім того, чавуни відрізняються низьким коефіцієнтом усадки. Тому чавуни застосовують для виготовлення деталей методами лиття.

Мідні сплави розподіляють на латуні та бронзи. Латуні – це сплави міді з цинком. Бронзи є сплавами міді з іншими елементами, у числі яких може бути і цинк. У маркуванні латуней першою буквою є Л. Маркування бронз розпочинають з букв Бр. Далі вказують елементи за допомогою прописних букв та їх середній вміст. Латуні та бронзи за технологічним чинником розподіляють на деформовані і ливарні. За хімічним складом латуні бувають прості та складні, а за структурою – однофазні та двофазні. У процесі маркування деформованих латуней після букви Л вказують середній вміст міді у відсотках. Решта відсотків характеризує вміст цинку. Маркування легованих деформованих латуней включає назву та кількість легованого елемента. У маркуванні деформованих бронз вміст міді не вказують. За буквами БР йде кількість і вміст легованих елементів. Марки ливарних латуней і бронз включають після букв Л або Бр назву і середній вміст компонентів.

Прості латуні легують тільки цинком. Прикладом простих однофазних латуней є латуні марок Л68, Л80, Л96. Прості двофазні латуні включають латунь марки ЛС59-1. Вони мають високі ливарні властивості. Складні латуні мають високу міцність, стійкість до корозії. Вони бувають однофазні латуні (ЛА77-2, ЛО70-1, ЛАН59-3-2, ЛАЖ60-1-1), які обробляють тиском, двофазні ливарні (ЛА67-2.5, ЛМцОЖ55-3-3-1).

Виділяють олов'яні та алюмінієві бронзи. Вони також бувають однофазні та двофазні. Олов'яні бронзи відрізняються стійкістю проти корозії, міцністю. Прикладом олов'яних однофазних бронз, які обробляють тиском, є бронза марки Бр.ОЦ4-3, а прикладом ливарних однофазних – бронза марки Бр.ОФ10-1. Алюмінієві бронзи мають високу пластичність. Прикладом алюмінієвих бронз високої пластичності є бронза марки Бр.А-5, а двофазних високої міцності – Бр.АЖ9-4.

Виробляють також кремнісні, берилеві, свинцеві бронзи. Кремнісні бронзи міцні і стійкі до лужних розчинів. Прикладом є бронза марки Бр.КМц3-1. Легування марганцем додає міцність і пружність. Берилеві

бронзи відрізняються міцністю, електропровідністю, корозійною стійкістю. Свинцеві бронзи мають антифрикційні властивості. Прикладом є бронза марки Бр.БНТ1.7.

Алюмінієві сплави розподіляють на деформовані і ливарні. Деформовані сплави включають сплави високої міцності, жароміцні сплави, сплави підвищеної пластичності, сплави, які стійки проти корозії. Сплави високої міцності – це дюралюміні. Прикладом таких сплавів є сплави марок Д1, Д16. Вони леговані міддю і цинком. Прикладом жароміцних сплавів є сплав марки АК4. Його застосовують до температури 320 – 350 °С. До сплавів підвищеної пластичності відносять сплави марок АВ, АМг2. Прикладом сплавів стійких проти корозії та здібних до зварювання є сплави АМц, АМг6. Ливарні алюмінієві сплави розподіляють на сплави з підвищеними ливарними властивостями і корозійною стійкістю (силуміни) (АЛ2, АЛ3, АЛ4, АЛ9); сплави з підвищеними механічними властивостями (магналій – АЛ8, АЛ7); жароміцні (АЛ1, АЛ20).

Магнієві сплави також розподіляють на деформовані і ливарні. Деформовані сплави включають сплави підвищеної міцності (МА2-1, МА14, МА15), теплостійкі сплави (МА1, МА2, МА8). Вони містять алюміній, марганець, цинк. Ливарні сплави виробляють для роботи без нагріву (МЛ3, МЛ5) і теплостійкі (МЛ10, МЛ15). Термостійкі сплави містять цинк, цирконій, ніобій, лантан.

Титанові сплави відрізняються високою міцністю, високою стійкістю проти корозії. Такі сплави розподіляють на однофазні (ВТ5), двофазні (ОТ4, ВТ6, ВТ8), однофазні з β – структурою (ВТ15, ВТ22).

Для забезпечення низького коефіцієнта тертя використовують олов'яні, свинцеві, цинкові, алюмінієві, мідно-свинцеві сплави. Прикладом олов'яних сплавів (бабітів) є сплав марки Б83, котрий включає олово, мідь, сурму. Олов'яно-свинцеві бабіти БС6 містять свинець, олово, сурму, мідь. Їх застосовують для навантажених підшипників. Для підшипникових вагонів використовують кальцієві бабіти, наприклад, бабіти марок Б16, БКА, котрий включає свинець, кальцій, натрій, алюміній. Цинкові антифрикційні сплави містять цинк, алюміній, мідь, магній. Алюмінієві антифрикційні сплави включають алюміній, мідь, олово, нікель, кремній.

Сплави високої твердості розподіляють на сплави підвищеної твердості (твердість за методом Віккерса складає 1 500 – 2 000 НV), сплави високої твердості (2 000 – 2 500 НV), сплави дуже високої твердості. Такі сплави застосовують для різання, деформування, шліфування. Марку-

вання твердих сплавів включає букви: В – присутність карбіду вольфраму при відсутності карбіду титану, Т – присутність карбіду титану поряд з карбідом вольфраму. Якщо після букви Т йде друга буква Т, то це вказує на присутність у сплаві карбіду танталу. За буквою Т вказують вміст карбіду танталу у відсотках. Наявність букви К у маркуванні характеризує присутність кобальту у сплаві. Кількість кобальту у відсотках вказує цифра після букви К. Присутність у кінці марки сплаву букви В вказує на вміст крупних частинок карбідів. Це знижує твердість сплаву. Прикладом твердих сплавів є сплави: Т15К6, Т5К12, які містять вольфрам, титан, кобальт; ВК6, ВК20, котрі містять вольфрам, кобальт.

5.2. Порядок проведення роботи

Робота полягає у тому, що на основі теоретичних даних маркування металевих сплавів проводять вивчення класифікацій сплавів, хімічного складу сплавів, впливу кількісного складу на властивості сплавів. Варіанти завдань та вихідні дані наведені у табл. 10.

Таблиця 10

Марки металевих сплавів

Варіант	Марки металевих сплавів
1	2
1	Ст1пс, 08, Н18К9М5Т, 08Х17Н13М2Т, Р12Ф3, СЧ10, Т15К6
2	Ст1сп, 20, 15Х6СЮ, 10Х14АГ15, 20Х13, СМ20, ВТ6
3	Ст2пс, 15ХФ, Н4Х12К15М4Т, Г13, Р9М4К8, СЧ25, МА14
4	Ст2сп, 12хН3А, 20Х20Н14С2, 65Г, В11М7К23, КЧ45-7, Б16
5	Ст3кп, 20ХГНР, Н10Х12Д2Т, 70С2ХА, 15Х28, ВЧ50-7, Д16
6	Ст3пс, 18ХГТ, 40Х9С2, 50ХГ, 20Х17Н2, Бр. АЖ9-4
7	Ст3сп, 55, 15Х28, 45ХН2МФА, 09Х15Н8Ю, 45Н, АЛ8
8	09Г2С, 60, 12Х17, 2Х8В8М2К8, 40Х13, Бр. ОЦ4-3
9	14Г2, 50Х, 12Х1МФ, 60С2ХФА, 95Х18, ЛС59-1
10	16ГС, 50Х, 20Х13, 45Х14Н14В2М, 30Х13, ВК6М
11	10Г2С1, 40ХН2МА, ХН77ТЮР, 55С2, 45Н, Б83
12	14ХГС, 40, ХН62ВМКЮ, 50ХФА, 80НХС, ВТ5
13	15ХСНД, 45Х, 25Х1МФ, У10А, 12Х18Н10Т, МА2

1	2
14	18Г2С, 40ХС, 40Х10С2М, 65С2ВА, 83НФ, АЛ7
15	25Г2С, 25ХГСА, 12Х18Н9Т, У7А, Х23Ю5, Бр. БНТ1,7
16	35ГС, 40ХН2МА, ХН60Ю, Х12МФ, У12А, Бр. КН1-3
17	10кп, 35ХМ, ХН56ВМКЮ, 5ХНМ, 50ХГ, Бр. ОЦ10-2
18	15Х, 30ХГС, 20Х3МВФ, 13Х, Х20Н80-Н, ЛАН59-3-2
19	12Х2Н4А, 40ХН, ХН70Ю, 6ХС, КЧ35-10, ВК25
20	45Х, 35, 15ХС6Ю, ОН9, 4Х5МФС, Бр. КМц3-1
21	58ПП, 35Г2, 08Х18Н10Т, 8ХФ, Х27Ю5Т, ВТ22
22	47ГТ, 33ХС, 10Х14Г14Н4Т, 4Х4ВМФС, 68НМП, БКА
23	38Х2МЮА, 40ХФА, 30Х10Г10, Р6М5, Х15Ю5, МЛ15
24	15кп, 30ХГСА, Г13, 2Х8В8М2К8, Х15Н60-Н, Бр. ОФ10-1
25	Ст3, 45Г2, 08Х18Н10, 5Х3В3МФС, ВЧ8-2, ЛМцОС58-2-2-2

Так, необхідно провести вивчення металевих сплавів марок 07Х21Г7АН5 та ЛМцОЖ55-3-3-1. На основі теоретичних даних маркування перший металевий сплав є сталь. До складу такої сталі входять вуглець, хром, нікель, марганець, азот. Відповідно стандартам і літературним даним [11; 14; 17] сталь марки 07Х21Г7АН5 входить до групи сталей, які призначені для роботи при низьких температурах. У цієї групи за стандартом присутня підгрупа хромонікельмарганцевих сталей, яка включає сталь марки 07Х21Г7АН5. Ця сталь призначена для виготовлення ненавантажених конструкцій. Робоча температура експлуатації конструкцій із сталі марки 07Х21Г7АН5 до -269 °С.

Металевий сплав ЛМцОЖ55-3-3-1, відповідно до стандартів, відносять до латуней – однієї із груп сплавів міді. У групі латуней виділяють підгрупу складних латуней підвищеної міцності і стійкості проти корозії. До підгрупі ливарних двофазних складних латуней належить латунь ЛМцОЖ55-3-3-1. Ця латунь призначена для масивного лиття у кораблебудуванні. Теоретичні дані маркування вказують, що в склад латуні ЛМцОЖ55-3-3-1 входить мідь, цинк, олово, залізо, алюміній, свинець, марганець.

Якісний і кількісний склад сталі і латуні марок 07Х21Г7АН5 і ЛМцОЖ55-3-3-1 наведені у табл. 11.

Склад металевих сплавів

Марка металевого сплаву	Якісний і кількісний склад металевого сплаву, % мас.									
	Вуглець	Хром	Нікель	Марганець	Азот	Мідь	Алюміній	Свинець	Олово	Залізо
07Х21Г7АН5	≤0,07	19,5-21	5-6	6-7,5	0,15-0,25	-	-	-	-	-
ЛМцОЖ 55-3-3-1	-	-	-	2-3	-	53-58	≤0,6	≤0,5	1,3-4,5	0,5-1,5

5.3. Контрольні запитання для захисту лабораторної роботи

1. Які виділяють типи класифікацій сталей? У чому особливості кожної класифікації сталей?
2. На які групи класифікують сталі за способом виробництва? Охарактеризувати кожну групу сталей.
3. Які підходи до маркування сталей за способом виробництва?
4. На які групи розподіляють сталі у разі класифікації за призначенням? Які сталі відносять до будівельних сталей?
5. Чим відрізняються одна від одної машинобудівельні (конструкційні) сталі загального призначення? Охарактеризувати сталі цієї групи.
6. У чому особливість машинобудівельних сталей спеціального призначення? Які сталі відносять до цієї групи?
7. На які групи розподіляють сталі, котрі призначені для роботи при підвищених температурах? У чому особливість кожної групи сталі?
8. У чому особливості складу зносостійких, пружинних, автоматних сталей? Навести характеристику і приклади марок таких сталей.
9. На які групи розподіляють інструментальні сталі? Охарактеризувати ці групи і вказати марки сталей у кожній групі.
10. Охарактеризувати сталі і сплави з особливими фізичними і хімічними властивостями. Що закладено в основу класифікації цих сплавів?
11. Які виділяють типи чавунів залежно від кількості вуглецю? Охарактеризувати кожний тип чавунів і вказати принципи їх маркування.

12. На які групи сплавів розподіляють мідні сплави? Які підходи до маркування мідних сплавів?

13. Які групи сплавів включають алюмінієві та магнієві сплави? Охарактеризувати виділені групи сплавів і навести приклади марок кожної групи сплавів.

14. Які сплави мають назву бабіти? У чому особливість властивостей таких сплавів?

15. На які групи сплавів розподіляють сплави високої твердості? Які прийняти підходи щодо маркування таких сплавів?

Змістовний модуль 3. Основи опору матеріалів. Загальні відомості щодо принципів складання механізмів

Лабораторна робота № 6. Вивчення механічних характеристик матеріалів

Обладнання та матеріали: стандарти на методи випробування на розтягування, довідкова література.

6.1. Дослідження деформації розтягування зразків матеріалів

Вивчення механічних характеристик матеріалів проводять у процесі розглядання деформації розтягування зразків матеріалів. Встановлені механічні характеристики застосовують при розрахунках на міцність, для класифікації типу матеріалів, для розробки процесів одержання матеріалів та їх обробки [14; 17].

Випробування на розтягування проводять відповідно до стандартів, які включають вимоги до зразків матеріалів, до обладнання, опис методу випробування, визначення механічних характеристик. Розроблені методи випробування при кімнатній температурі, при зниженій температурі, при підвищеній температурі [18; 25].

Для випробування при розтягуванні використовують циліндричні та плоскі зразки. Циліндричні зразки мають діаметр від 3 мм до 25 мм.

Плоскі зразки мають товщину від 0,5 мм до 25 мм. Схема циліндричного зразка наведена на рис. 10.

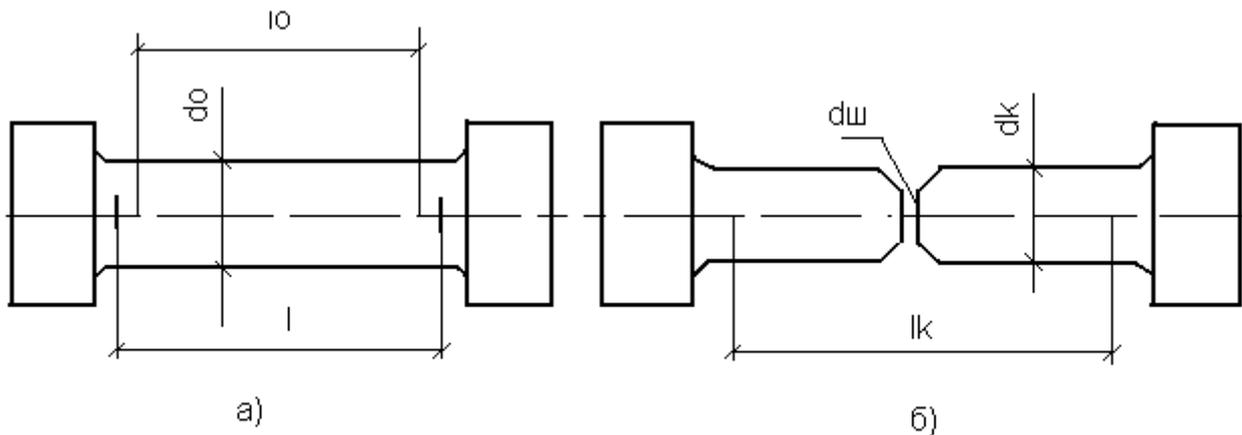


Рис. 10. Схеми циліндрових зразків:
а) до випробування; б) після випробування

На рис. 10 вказані такі характеристики:

l – робоча довжина зразка, яка характеризує частину зразка з постійної площею поперечного перетину між ділянками для захвату;

l_0 – початкова розрахункова довжина зразка. Вона характеризує ділянку робочої довжини зразка між нанесеними мітками для випробування. На цій ділянці визначають подовження;

l_k – кінцева розрахункова довжина зразка, котра відповідає довжині розрахункової частині зразка після розриву зразка;

d_0 – початковий діаметр зразка, який характеризує діаметр робочої частини зразка до випробування;

d_k – діаметр циліндричного зразка після розриву, тобто робоча частина зразка з мінімальним діаметром;

$d_{ш}$ – діаметр шийки. Шийка – це різке зменшення площі поперечного перетину зразка;

Δl – абсолютне подовження зразка матеріалу. Це збільшення початкової розрахункової довжини в будь-який момент часу: $\Delta l = l_k - l_0$;

ε – відносно подовження – відношення абсолютного подовження до початкової довжини;

A_0 – початкова площа поперечного перетину зразка, яка характеризує площу поперечного перетину робочої частини зразка до випробування;

A_k – площа поперечного перетину зразка після розриву. Це мінімальна площа поперечного перетину робочої частини зразка після розриву;

σ – напруження. Це відношення осевого розтягувального навантаження до початкової площі поперечного перетину робочої частини зразка;

S – істинне напруження. Це відношення осевого розтягувального напруження до текучої площі поперечного перетину робочої частини зразка в будь-який момент часу.

Наведені лінійні розміри в машинобудуванні вимірюють у мм, площу – в мм². В системі СІ лінійні розміри і площу відповідно вказують у м і м². Для вимірювання зусилля застосовують кілограм-силу (кгс) (технічна система), ньютон (система СІ). 1 кгс = 9,80665 Н. Напруження розраховують у кгс/мм² (технічна система) і в паскалях (Па). 1 Па = 1 Н/м². 1 МПа = 10⁶ Па. 1 кгс = 9,80665 МПа.

Для випробування на розтягування застосовують короткі та довгі циліндрові зразки. Основним діаметром у цих зразках є діаметр 10 мм. Між діаметром d_0 і довжиною l_0 видержують співвідношення, яке для коротких зразків складає $5d$, а для довгих зразків – $10d$.

Для випробування вказаних зразків використовують розривні машини з механічним або гідравлічним приводом. У машині існує рушійна траверса, яка переміщується вниз. У результаті у закріпленому зразку матеріалу траверса створює зусилля розтягування. Таке зусилля через пасивний захват передається силовимірювачу. За шкалою силовимірювача відраховується навантаження. Розривна машина має діаграмний апарат, за допомогою якого викреслюється машинна діаграма. Загальна схема випробування наведена на рис. 11.

Із рис. 11 видно, що машинна діаграма розтягування характеризує залежність між навантаженням і абсолютним подовженням. Така діаграма для маловуглецевої сталі наведена на рис. 12. Відповідно до рис. 12 машинна діаграма включає характерні ділянки. Ділянка ОА характеризує пружні деформації в сталі, тобто деформації, які зникають у матеріалі після знімання навантаження. Ділянка АВ є ділянкою текучості сталі. На цій ділянці в матеріалі з'являється пластична (решта) деформація. Така деформація не зникає після знімання навантаження. На ділянці ВС йде зміцнення сталі. На ділянці CD проходить зниження навантаження.

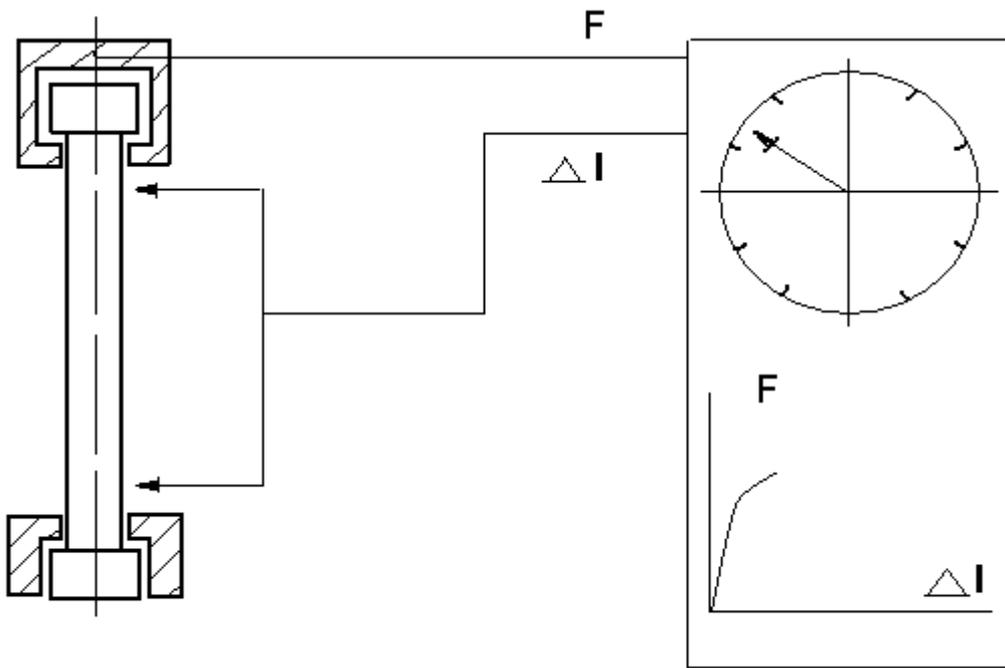


Рис. 11. Схема випробування зразків матеріалів на розтягування

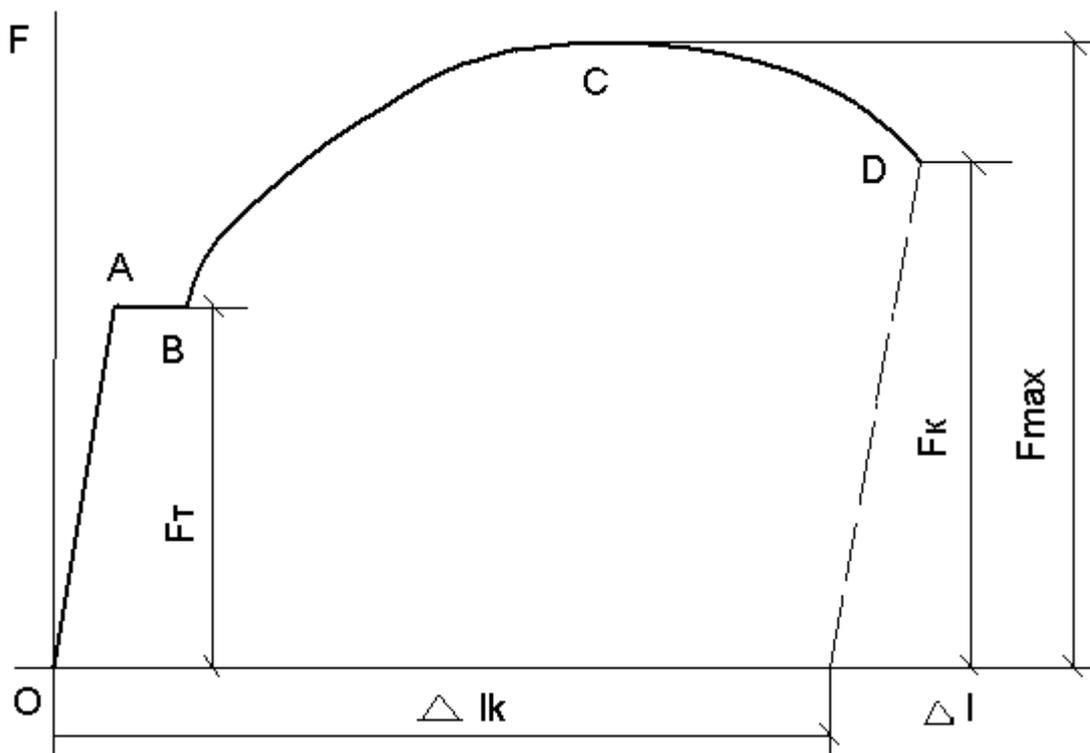


Рис. 12. Машинна діаграма розтягування зразка із маловуглецевої сталі

Із рис. 12 також видно, що на ділянці ОА проходить пряма лінія. Це вказує на прямо пропорційну залежність між навантаженням і подовженням. Така залежність відповідає закону Гука. За законом Гука пов'язана залежність між напруженням σ та відносною деформацією ϵ . Тому ділянку ОА застосовують для визначення пружної постійної матеріалу – модуля нормальної пружності E (модуля Юнга) за формулою: $E = \sigma/\epsilon$.

На ділянці АВ проходить збільшення подовження зразка сталі без підвищення навантаження. Це вказує на текучість зразка сталі. Ділянка АВ характерна для маловуглецевих сталей, частини титанових сплавів, латуней. Відсутність ділянки текучості у процесі випробування інших матеріалів не дає можливості визначити межу текучості. Цей показник обмежує несущу здатність матеріалів. На ділянці ВС проходить зміцнення матеріалу. При такому явищі йде змінення властивостей матеріалу в результаті деформації за межею текучості. Це явище ще називають наклепом [14; 17; 18].

Необхідно зазначити, що на ділянці ВС йдуть два конкуруючих процеси. При першому процесі проходить фізичне зміцнення сталі за рахунок змін у тонкій структурі сталі. Другий процес проходить внаслідок зменшення поперечного перетину за всією довжиною зразка сталі. У точці С досягається рівновага цих процесів. При продовженні розтягування, після досягнення максимального навантаження, на ділянки CD йде зниження навантаження. Деформації концентруються в області шийки. На решті частині зразка сталі розміри поперечного перетину не змінюються.

Зменшення площі в області шийки зразка потребує менше навантаження. В результаті падає навантаження. Разом із тим, в об'ємі зразка сталі продовжують зростати істинні напруження. В точці С проходить розрив зразка сталі.

Механічні характеристики, які характеризують властивості матеріалів, мають умовний характер. Це пов'язано з тим, що їх визначають по відношенню до початкових розмірів зразка. У той же час при розтягуванні йде змінення абсолютних розмірів зразка. Для одержання діаграми розтягування, яка не залежить від абсолютних розмірів зразка матеріалу, перебудують машинну діаграму в координатах напруження σ і відносна подовження ϵ [18; 25]. Така діаграма наведена на рис. 13.

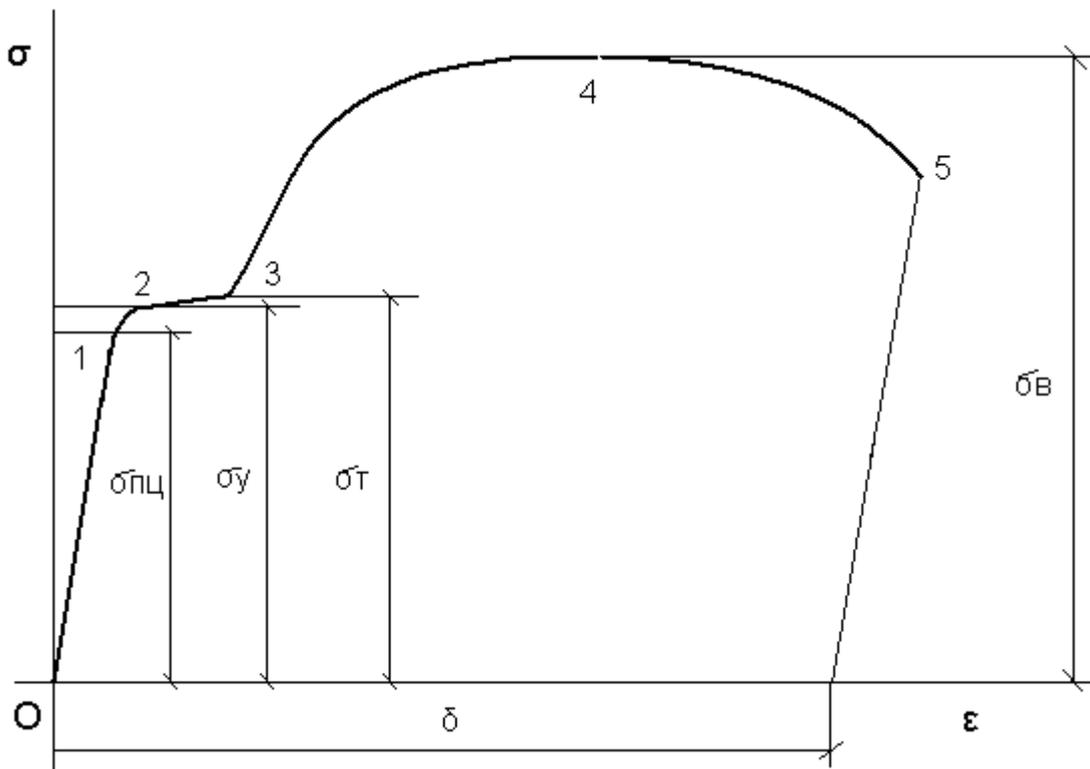


Рис. 13. Діаграма розтягування у координатах напруження і відносно подовження

Діаграма розтягування на рис. 13 показує основні механічні характеристики. До характеристик міцності відносять межу пропорційності ($\sigma_{пц}$), межу пружності (σ_y), межу текучості (σ_T), межу міцності (σ_B). Вказані характеристики визначають за формулою:

$$\sigma_{пц} = F_{пц}/A_0; \quad \sigma_y = F_y/A_0; \quad \sigma_T = F_n/A_0; \quad \sigma_B = F_{max}/A_0. \quad (12)$$

Межу пружності умовно визначають при 0,05. Це таке напруження, при якому решта подовження досягає 0,05 % довжини ділянки робочої частини зразка. Фізична межа текучості характеризує напруження, при якому зразок матеріалу деформується без значного збільшення навантаження. Межу текучості умовно встановлюють при 0,2. Це напруження, при якому решта подовження досягає 0,2 % розрахункової довжини зразка. Межа міцності або тимчасовий опір розриву характеризує напруження, яке відповідає найбільшому навантаженню перед розривом.

Характеристиками пластичності є максимальне (відносно) подовження після розриву, відносно рівномірне подовження, максимальне (відносно) звуження після розриву. На рис. 13 максимальне (відносно)

подовження після розриву позначають δ . Його значення дорівнює відношенню прирощення розрахункової довжини зразка після розриву ($l_k - l_0$) до початкової довжини зразка l_0 і виражають у відсотках. Відносно рівномірне подовження знаходять як відношення прирощення довжини ділянки в робочій частині зразка після розриву до довжини до випробування і виражають у відсотках. Максимальне (відносно) звуження після розриву позначають Ψ . Його значення визначають як відношення різниці початкової і мінімальної площі поперечного перетину зразка до початкової площі і виражають у відсотках.

Машинні діаграми розтягування різних матеріалів неоднакові. Характер розриву зразків матеріалів залежить від природи матеріалу. Тому за типом діаграм розтягування матеріали розділяють на три групи. До першої групи відносять пластичні матеріали. Діаграми розтягування таких матеріалів подібні діаграмі, яка зображена на рис. 12, тобто мають площадку текучості. Діаграми розтягування пластичних матеріалів називають діаграмами першого типу. До другої групи відносять крихкі матеріали. Такі матеріали мало деформуються і руйнуються за крихким типом (рис. 14).

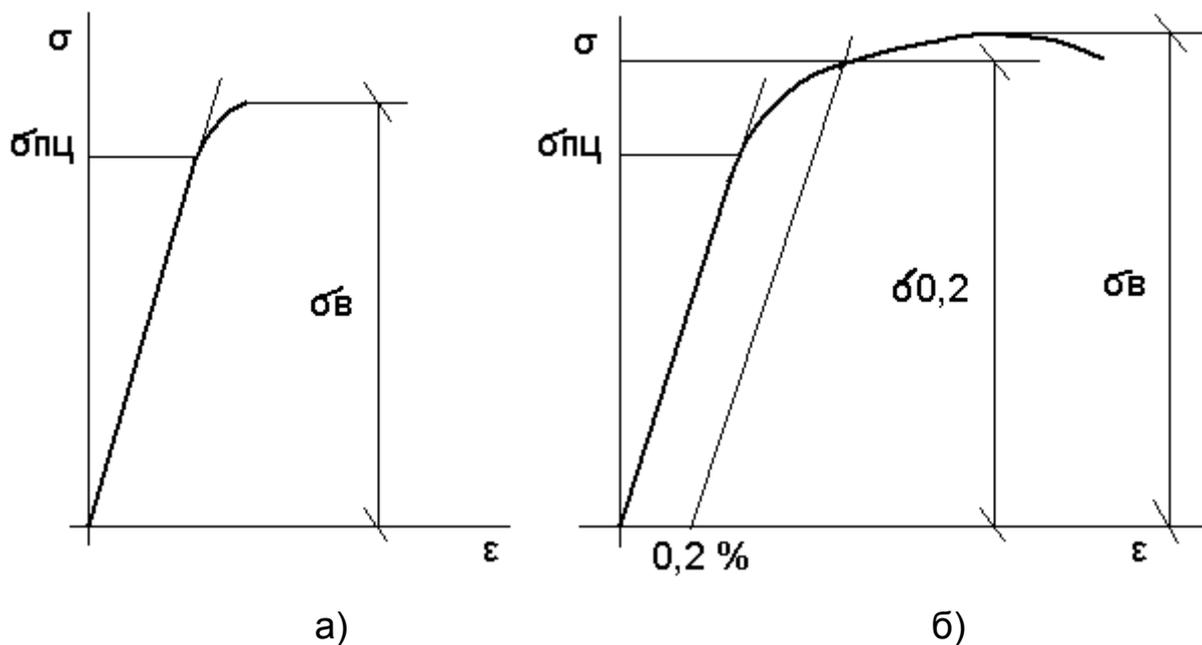


Рис. 14. Діаграми розтягування: а) крихких матеріалів;
б) пластично-крихких матеріалів

Як видно із рис. 14а діаграма розтягування крихких матеріалів не має площадки текучості. До третьої групи відносять матеріали, котрі значно

деформуються під навантаженням. Однак вони не мають площадки текучості (рис. 14б). Ці матеріали називають пластично-крихкими матеріалами. Значна деформація пластично-крихких матеріалів ускладнює їх практичне застосування. Тому обмежують пластичну деформацію цих матеріалів. Максимальна можлива відносна деформація для них складає 0,2 %. За величиною такої деформації визначають нормальне напруження, яке приймають за граничне напруження. Відсутність на діаграмах розтягування крихких і пластично-крихких матеріалів площадки текучості говорить про відсутність межі текучості для цих матеріалів. Тому за відсутністю межі текучості встановлюють такі матеріали.

Для вказаних матеріалів введені граничні та допустимі напруження. За граничне напруження приймають напруження, при якому в матеріалі виникає небезпечна деформація. За допустиме напруження приймають максимальне напруження, при якому в матеріалі не виникає небезпечна деформація і він нормально функціонує.

Граничним напруженням для крихких матеріалів є межа міцності. Руйнування вказаних матеріалів йде за крихким типом, оскільки в них відсутні пластичні деформації. Для пластичних матеріалів граничним напруженням є межа текучості. Це пов'язано з тим, що пластична деформація в таких матеріалах не зникає після знімання навантаження. Для пластично-крихких матеріалів за граничне напруження приймають напруження, яке відповідає відносній деформації 0,2 %.

Допустимі напруження пишуть у квадратних дужках. Їх розраховують на основі граничних напружень. Загальна формула визначення допустимих напружень включає допустимий коефіцієнт запасу міцності s і має такий вигляд:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{гран}}}{[s]}. \quad (13)$$

Допустимий коефіцієнт запасу міцності приймають залежно від складності виробів. Значення його знаходиться в інтервалі 1,25 – 12,5.

6.2. Порядок проведення роботи

Робота передбачає визначення механічних характеристик матеріалів за діаграмами розтягування зразків цих матеріалів. Одержують ма-

шинні діаграми розтягування вуглецевих сталей. Ці діаграми застосовують для встановлення механічних характеристик міцності.

Для визначення межі пропорційності на діаграмі розтягування зразка сталі на довільній висоті у межах пружної ділянки проводять пряму лінію, яка паралельна осі подовження. Це вказано на рис. 15.

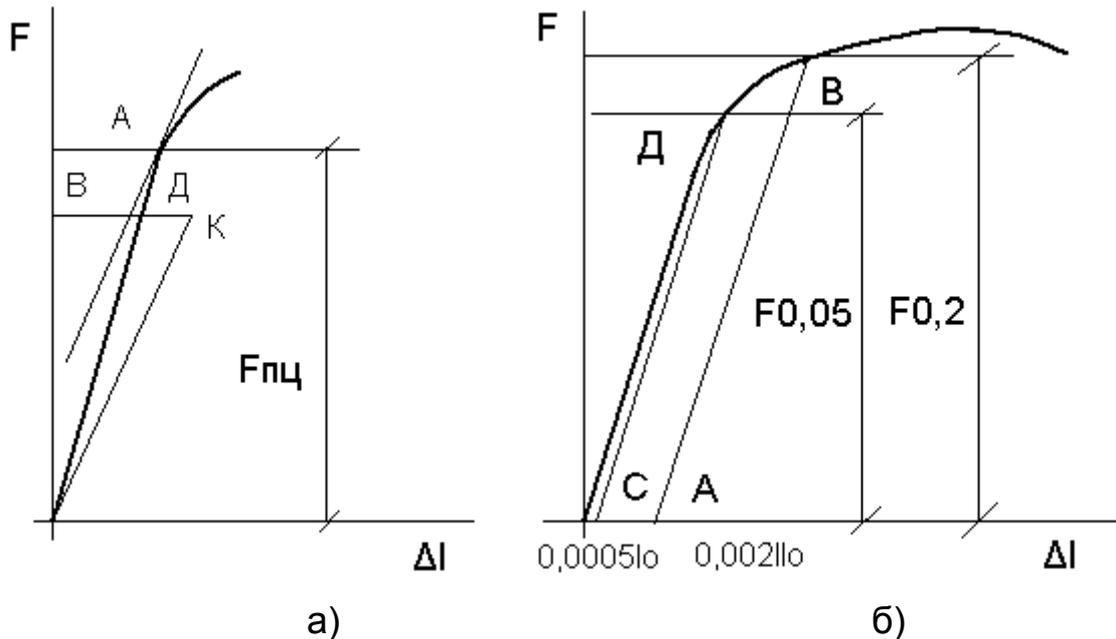


Рис. 15. Графічне визначення величин навантаження

Із рис. 15 видно, що пряма лінія пересікає ось навантаження в точці В, а діаграму розтягування – в точці Д. Вимірюють довжину відрізка ВД. Справа від точки Д, паралельно осі подовження, відкладають відрізок ДК. Довжина відрізка ДК дорівнює половині відрізка ВД. Далі із початку координат проводять пряму лінію до точки К. Паралельно лінії ОК проводять дотичну лінію до діаграми розтягування. В результаті одержують точку А, ордината якої і характеризує необхідне навантаження $F_{пц}$. За формулою 12 визначають $\sigma_{пц}$.

Для визначення фізичної межі текучості на машинній діаграмі розтягування встановлюють навантаження F_T , яке відповідає площадці текучості. Це вказано на рис. 13. Далі за формулою 12 визначають фізичну межу текучості σ_T .

Далі визначають умовну межу текучості $\sigma_{0,2}$, при якій решта подовження досягає 0,2 % розрахункової довжини зразка матеріалу. Спочатку розраховують величину решти подовження $\Delta l_{0,2}$. Вона складає $0,002 l_0$. На осі подовження діаграми розтягування (рис. 15б) відкладають відрі-

зок, котрий дорівнює $\Delta l_{0,2}$. Із одержаної точки А паралельно ділянці пружної деформації проводять пряму лінію до пересікання з діаграмою розтягування. Ордината точки пересікання В характеризує навантаження $F_{0,2}$. За відповідною формулою 13 визначають умовну межу текучості $\sigma_{0,2}$.

Подібно до умовної межі текучості визначають межу пружності, при якій решта подовження складає 0,05 % довжини ділянки робочої частини зразка. Її позначають $\sigma_{0,05}$. Графічне визначення $F_{0,05}$ вказано на рис. 15б. Значення межі пружності $\sigma_{0,05}$ визначають за відповідною формулою 13.

Для визначення межі міцності (тимчасового опору розриву) із діаграми розтягування беруть максимальне навантаження F_{\max} , при якому йде розрив зразка сталі. Далі за відповідною формулою 13 визначають межу міцності σ_B .

Одержані механічні характеристики зразків сталей порівнюють з характеристиками, які наведені в літературі [11; 25].

6.3. Контрольні запитання для захисту лабораторної роботи

1. Яке практичне значення має визначення механічних характеристик?
2. При розгляданні якої деформації проводять вивчення механічних характеристик матеріалів?
3. Які розроблені методи випробування матеріалів на розтягування? Яка форма і основні характеристики зразків матеріалів для випробування на розтягування?
4. У яких одиницях вимірювання виражають лінійні розміри, навантаження, напруження у системі СІ і технічній системі?
5. Охарактеризувати основні вузли розривної машини, їх призначення у процесі розтягування зразків матеріалів.
6. Яку діаграму розтягування одержують на розривній машині? В яких координатах зображають таку діаграму?
7. Які характерні ділянки включає машинна діаграма розтягування зразка мало вуглецевої сталі?
8. Чому механічні характеристики матеріалів мають умовний характер?
9. Як одержують діаграму розтягування, яка не залежить від абсолютних розмірів зразків матеріалів?

10. Навести механічні характеристики міцності та пластичності. За якими формулами вони визначаються?

11. Пояснити, чому діаграми розтягування матеріалів застосовують для розподілу матеріалів на групи? Які групи матеріалів виділяють на основі діаграм розтягування?

12. Охарактеризувати граничні напруження, котрі встановлюють для матеріалів. Які механічні характеристики приймають за граничні напруження для окремих груп матеріалів?

13. Яке напруження приймають за допустиме напруження для матеріалів? Як позначають і визначають допустиме напруження?

14. Який порядок визначення межі пропорційності за машинними діаграмами розтягування?

15. Як визначають межу текучості фізичну і межу текучості умовну за діаграмами розтягування?

16. Вказати порядок визначення межі пружності та межі міцності матеріалів за діаграмами розтягування.

Лабораторна робота № 7. Вивчення складу, структури, властивостей полімерів

Обладнання та матеріали: установки для визначення температури розкладення полімерів, температури плавлення олігомерів, лабораторні ваги, зразки полімерів, довідкова література.

7.1. Елементи фізико-хімії полімерів

Полімери – це високомолекулярні речовини, які мають високу молекулярну масу і побудовані із значної кількості структурних ланків. Структурні ланки можуть бути однакові, як у поліетилену $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$ і різні, як у сополімеру вінілхлориду з вініліденхлоридом $(\text{CH}_2-\text{CHCl}-\text{CH}_2-\text{CHCl}_2-)_n$. Для полімерів ступінь полімеризації n більше 10, а молекулярна маса більше 10 000. Якщо в структурі полімеру кількість структурних ланок незначна, тобто ступінь полімеризації n менше 10, і молекулярна маса не перевищує 1 000, тоді такі речовини мають назву олігомери [19; 23].

Молекули полімерів називають макромолекулами. Вони мають довголанцюгову будову. Низькомолекулярні речовини, із яких виробляють

полімери мають назву мономерів. Наприклад, етилен, вінілхлорид, вінілденхлорид, стирол.

Властивості полімерів залежать від складу, структури макромолекули, а також від структурних рівнів. Виділяють молекулярний структурний рівень, надмолекулярний структурний рівень, фазовий структурний рівень. Перший рівень визначають природою хімічних зв'язків. Вид атомів, їх кількість і порядок розміщення в макромолекулі визначають хімічний склад і будову макромолекули. Другий рівень формується під впливом міжмолекулярних сил. Значна кількість і різноманіття міжмолекулярних взаємодій приводить до різних надмолекулярних форм. Третій рівень формується під дією поверхневих сил. Фази виникають унаслідок кристалізації, розшарування.

Із класифікацій полімерів поширення одержала класифікація за структурою основної полімерної ланки. Відповідно до такої класифікації полімери розподіляють на два класи: карболанцюгові, гетероланцюгові. Макромолекули полімерів першого класу включають атоми вуглецю. Ці полімери одержують за допомогою реакції полімеризації мономерів, котрі містять зв'язок вуглець – вуглець. Макромолекули полімерів другої групи вміщують атоми вуглецю та інших елементів, таких як кисень, азот. Карболанцюгові полімери більш стійкі до окислення і дії хімічних реагентів, ніж гетероланцюгові полімери [19; 23].

Відповідно до структури макромолекул виділяють лінійні, розгалужені, сітчасті полімери. Лінійні полімери не мають бокових відгалужень у макромолекулах. Часті і короткі відгалуження надають структурі полімеру жорсткість. Шляхом хімічних перетворень лінійних і розгалужених полімерів одержують сітчасті полімери, які відрізняються підвищеними фізико-хімічними та експлуатаційними властивостями.

Надмолекулярні структури дозволяють характеризувати полімери. Для аморфних полімерів характерні прості надмолекулярні структури, для кристалічних полімерів – більш складні різноманітні надмолекулярні структури. Простою надмолекулярною структурою є пачки. Вони включають макромолекули. Пачки утворюють стрічки, пластини, глобули, із яких утворюється кристалічна фаза полімеру. Глобули містять макромолекули, які звернуті у сферичні частинки.

Пачечні структури характерні для аморфних полімерів і частково для кристалічних полімерів. Глобулярні структури характерні для аморф-

них полімерів у склоподібному стані. Присутність глобулярних надмолекулярних структур у полімері підвищує його хрупкість.

Полімери, які мають регулярно побудовані макромолекули, добре кристалізуються. Однак вони мають дефекти молекулярної структури, що приводить до виникнення аморфної фази. До кристалічних полімерів відносять поліетилен низького та середнього тиску, поліпропілен, фторопласт, поліаміди. Властивості кристалічних полімерів залежать від ступеня кристалічності і будови кристалічних структур. Ступінь кристалічності характеризує частку об'єму полімеру, яка зайнята кристалічною фазою. Аморфна фаза розташована між ділянками кристалічної фази. Ступінь кристалічності визначається методами одержання і переробки. Його величина впливає на міцність полімеру.

Властивості полімерів розглядають на основі явищ релаксації. Релаксація характеризує перехід системи із нерівноважного стану в рівноважний стан. Під дією зовнішньої сили і зміни температури, тиску, концентрації проходить переміщення макромолекул, надмолекулярних структур полімерів. На швидкість такого переміщення впливають будова, розміри структур полімерів і взаємодія між ними [19].

Оскільки в процесах релаксації беруть участь різноманітні структури полімерів, то виникають різні стани релаксації. Для полімерів характерний кристалічний та аморфний фазові стани, а також рідкий та твердий агрегатні стани. Це можливо за рахунок великої молекулярної маси і довголанцюгової будови макромолекул.

Виникнення кожного стану залежить від параметрів стану: температури, концентрації, тиску. Під впливом температури змінюється здібність полімерів до деформації. Змінення термомеханічних кривих полімерів залежно від температури наведено на рис. 16.

Із рис. 16 видно, що на термомеханічних кривих виділяють ділянки склоподібного стану, високоеластичного стану, в'язкотекучого стану. Склоподібний стан характерний на ділянці до температури склування ($T_{ск}$). На цій ділянці полімер володіє пружними властивостями, які описують законом Гука. У склоподібному стані неможливе переміщення макромолекул. Значення $T_{ск}$ залежить від будови і складу макромолекул. Нижче $T_{ск}$ релаксаційні процеси загальмовані. Полімер знаходиться у нерівноважному стані. Склоподібний стан характерний для будь-яких полімерів.

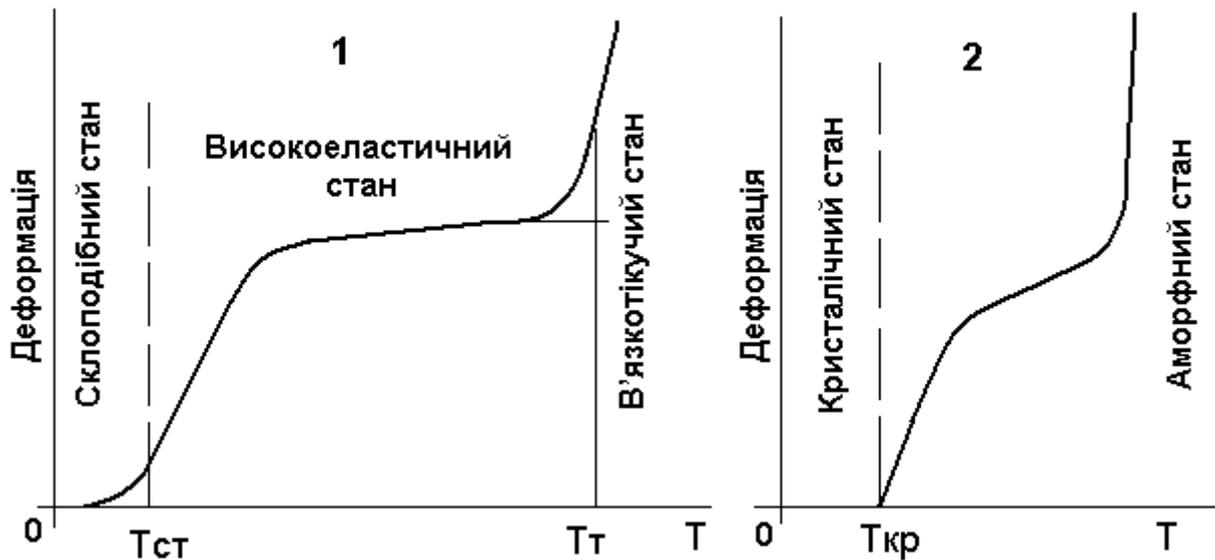


Рис. 16. Залежність термомеханічних кривих від температури для:
1 – аморфного полімеру; 2 – кристалічного полімеру

До $T_{ск}$ близька температура хрупкості, $T_{хр}$. При $T_{хр}$ полімер руйнується під навантаженням при охолодженні. У склоподібному стані в полімері виникають внутрішні напруження, які знижують міцність полімерів.

Вискоеластичний стан на рис. 16 розташований між температурами склування і текучості $T_{т}$. У такому стані рух отримують окремі частини макромолекул, які мають назву "кінетичні сегменти". В результаті макромолекули одержують гнучкість і здатність змінювати форму під впливом навантаження. Оскільки сталим станом макромолекули є стан звернутого клубка, тоді розтягнута навантаженням макромолекула буде прямувати до початкової форми, тобто до клубка.

Розмір кінетичних сегментів у макромолекулах полімерів визначає область високоеластичного стану. Так, кінетичні сегменти каучуку включають декілька ланок мономерів. У результаті каучук має велику область високоеластичного стану. Якщо кінетичні сегменти включають багато ланок мономерів, тоді область високоеластичного стану буде малою. Це характерно для жорстко ланцюгових полімерів.

У в'язкотекучому стані полімер є в'язкою рідиною. В цій рідині рухаються усі частини макромолекул. Величина температури текучості залежить від молекулярної маси і жорсткості полімерного ланцюга.

Відповідно до рис. 16 змінення стану полімеру проходить при $T_{ск}$ і $T_{т}$. Такі зміни стану в аморфних полімерів називають фазовими переходами другого роду. При температурах $T_{ск}$, $T_{т}$ відсутнє стрибкоподібне змінення

властивостей. В той же час у кристалічних полімерів властивості змінюються стрибкоподібно в точках фазових переходів. Вказані зміни властивостей для аморфних і кристалічних полімерів наведені на рис. 17.

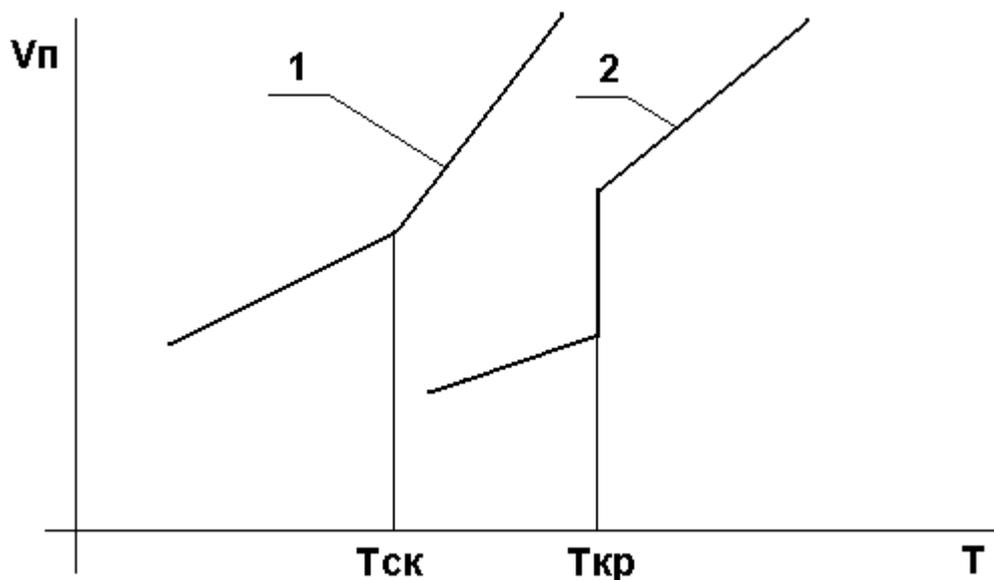


Рис. 17. Залежність питоми об'єму від температури:
1 — для аморфного полімеру; 2 — для кристалічного полімеру

Проведені дослідження полімерів вказують, що $T_{ск}$, T_T , $T_{кр}$ є важливими характеристиками полімерів. Тому вказані температури використовують для класифікації полімерів на еластомери, пластики, волокноутворюючі речовини, плівкоутворюючі речовини. Еластомери не кристалізуються, оскільки мають $T_{ст}$ нижче за кімнатну температуру. Крім того, для еластомерів характерна значна різниця між T_T і $T_{ст}$. У той же час волокноутворюючі полімери повинні мати високу температуру плавлення і значну різницю між температурами розкладання і кристалізації. Для плівкоутворюючих полімерів не характерна кристалізація. Вони мають високу T_T .

Практичне значення наведених результатів дослідження полімерів полягає в тому, що в технології необхідно знижувати температури фазових переходів полімерів. Це потрібно для підвищення еластичності, ударної в'язкості полімерів.

7.2. Порядок проведення роботи

Робота включає визначення температури розкладання полімерів, температури плавлення кристалічних олігомерів, густини полімерів.

Температура розкладання $T_{\text{розк}}$, характеризує процес руйнування макромолекул під час нагріву. Цю температуру сумісно з температурою плавлення використовують для вибору методу переробки й умов експлуатації полімерів. Для полімерів, які не плавляться, температура розкладання є єдиною характеристикою. Крім того, ця температура має значення для речовин, які розкладаються при температурі плавлення. Визначення температури розкладання ведуть за методом, котрий наведений у роботі [5]. Відповідно до цього методу складають установку, схема якої наведена на рис. 18.

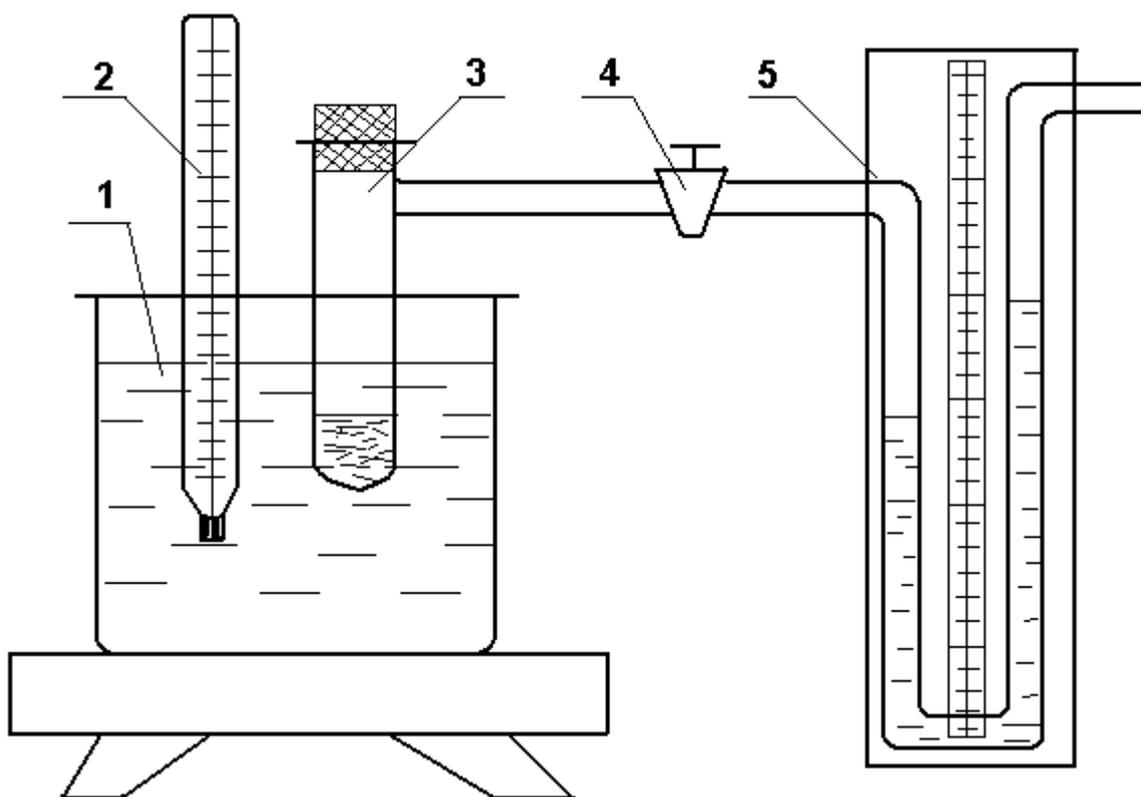


Рис. 18. Схема установки для визначення температури розкладання полімерів: 1 — баня; 2 — термометр; 3 — пробірка; 4 — триходовий кран; 5 — ртутний манометр

Пробу полімера сушать в сушильному шафу при температурі 100 – 110 °С. З цієї проби на технічних вагах відважують полімер масою 1 г із точністю до 0,1 г і розміщують у пробірці 3 установки (рис. 18). Пробірка 3 через триходовий кран 4 з'єднана з ртутним манометром 5. Вільний кінець манометру сполучений з атмосферою. Пробірка розташована в ба-

ні 1, яка містить теплоносії. В бані поряд із пробіркою знаходиться термометр 2. Баня розміщена на електричній плитці. За допомогою електричної плитки забезпечують рівномірний нагрів теплоносія в бані. Енергія теплоносія передається пробірці з полімером. Через кожні 3 хвилини після включення електричної плитки визначають температуру в бані та тиск у ртутному манометрі. За результатами випробування будують графік залежності температури і тиску від часу. Такий графік наведений на рис. 19.

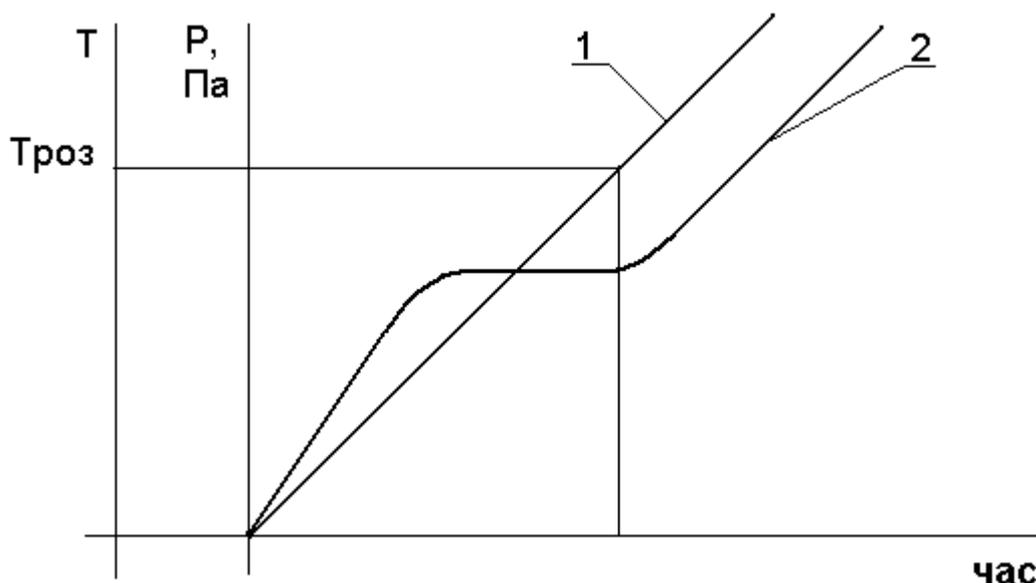


Рис. 19. Залежність від часу: 1 — температури; 2 — тиску

Залежності температури і тиску від часу на рис. 19 характеризують процес розкладання полімеру при нагріванні. Це зумовлено тим, що під час розкладання полімеру тиск різко зростає. В результаті на кривій тиску з'являється стрибок тиску. Точці початку стрибка відповідає певна температура. Тому за графіком визначають температуру розкладання полімеру, як вказано на рис. 19.

Температура плавлення $T_{пл}$, характеризує перехід кристалічної речовини в рідину. Для індивідуальних речовин $T_{пл}$ вказує на чистоту речовин, оскільки чисті речовини плавляться в інтервалі $0,5 - 1$ °С [13; 26]. Для олігомерів інтервал плавлення складає дещо більше 1 °С.

Визначення $T_{пл}$ проводять за допомогою установки, яка наведена на рис. 20. Експеримент розпочинають з підготовки олігомеру і капіляру.

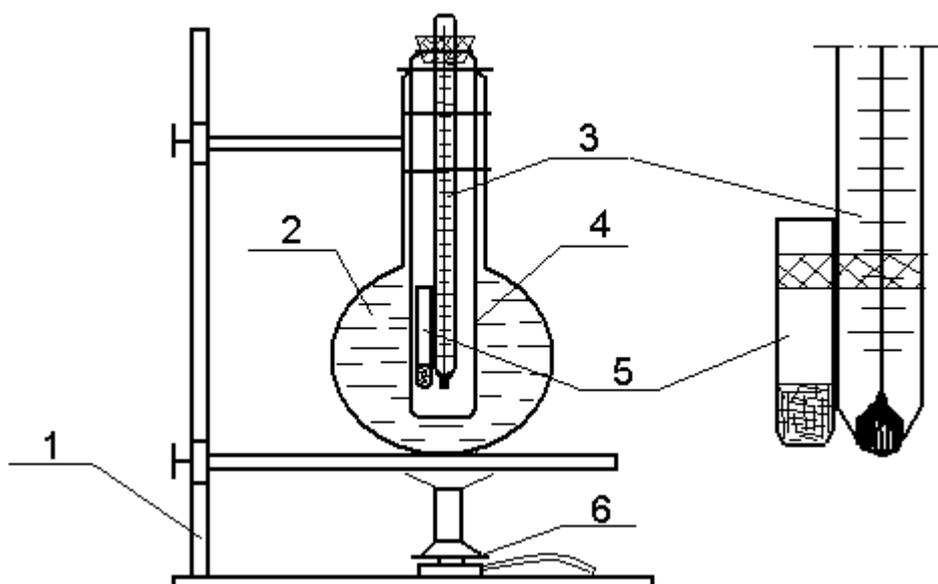


Рис. 20. Установка для визначення температури плавлення:
1 – штатив; 2 – термостійка колба; 3 – ртутний термометр;
4 – пробірка; 5 – тонкостінний капіляр; 6 – газовий пальник

Незначну масу олігомеру приблизно 0,2 – 0,5 г здрібнюють у тонкий порошок у ступці. Паралельно на полум'я газового пальника запаюють один кінець тонкостінного капіляру. Тонкий порошок переносять на годинникове скло і проводять наповнення капіляру олігомером. Шляхом постукування запаяним кінцем капіляру по дереву проводять ущільнення олігомеру в капілярі до висоти 5 мм. За допомогою гумового кільця підготовлений капіляр 5 закріплюють на термометрі 3, як вказано на рис. 20. Речовина в капілярі повинна бути розташована на рівні ртутної кульки термометра і добре видна у прохідному світлі. Термометр 3 розміщують в пробірці 4, яка знаходиться в термостійкій колбі 2. Колба закріплена на штативі 1 і заповнена сірчаною кислотою. Спочатку нагрів колби ведуть на великому полум'ї пальника 6. Коли температура в колбі досягне величини, котра на 20 °С менше $T_{пл}$ олігомеру, зменшують швидкість нагріву до 1 – 2 °С за хвилину.

Протягом усього визначення $T_{пл}$ олігомеру уважно слідкують за речовиною в капілярі. Перед плавленням проходить усадка і розм'якшення олігомеру. Поява перших капель вказує на початок плавлення. Завершенням плавлення рахують перехід усього порошку олігомеру в рідку фазу. Для одержання точних результатів визначення температури плавлення та інтервалу плавлення олігомери проводять три рази.

Полімери відносять до легких матеріалів. Їх густина знаходиться у межах 0,9 – 2,3 г/см³ [12]. Величини густини для поширених полімерів наведені у табл. 12.

Таблиця 12

Густина промислових полімерів

№ п/п	Назва полімеру	Значення густини, г/см ³
1	Поліетилен	0,92-0,96
2	Поліпропілен	0,90
3	Поліізобутилен	0,91-0,93
4	Полістирол	1,05-1,08
5	Фторпласт – 3	2,11-2,216
6	Фторпласт – 4	2.2-2.3
7	Поліметилметакрилат	1,18-1.2
8	Сополімер етилену з пропіленом	0,93-0,95
9	Вініпласт листовий	1,35-1,4
10	Сополімер вінілхлориду з вінілацетатом	1,34
11	Поліуретани	1,2
12	Прес-порошки на основі новолачних, резольних фенол-формальдегідних олігомерів	1,4
13	Поліаміди	1,1-1,14
14	Фаоліт	1,5-1,1,6
15	Поліепоксиди	1,19-1.23

Густину полімерів визначають за допомогою гідростатичного зважування. Для експерименту беруть два зразки кожного полімеру довжиною 100 – 120 мм, шириною 15 – 20 мм. Кожний зразок полімеру при кімнатній температурі зважують на лабораторних вагах із точністю до 0,01 г. Далі у підготовлені скляні склянки певного об'єму наливають дистильовану воду. Склянки з дистильованою водою зважують з точністю до 0,01 г. Зразки полімерів розміщують у склянках із дистильованою водою. Потім проводять зважування склянок сумісно зі зразками полімерів.

Визначення густини полімерів засновано на витискувальній силі води. Така сила дорівнює множині маси води m_B , яка витісняється поліме-

ром, на прискорення вільного падіння g . Відношення сили важкості полімеру в повітрі та в воді дає відносну густину полімеру, d :

$$d = m_{\text{пов}} \cdot g / m_{\text{в}} \cdot g = m_{\text{пов}} \cdot m_{\text{в}} \quad (14)$$

Густину полімеру визначають шляхом множення відносної густини полімеру на густину води при температурі експерименту. Густина води при різних температурах наведена у табл. 13.

Таблиця 13

Густина води при різних температурах

Температура, °C	Густина, г/см ³	Температура, °C	Густина, г/см ³
15	0,9991	21	0,9980
16	0,9989	22	0,9978
17	0,9988	23	0,9975
18	0,9986	24	0,9973
19	0,9984	25	0,9970
20	0,9982		

На основі результатів визначення густини зразків полімерів знаходять середнє значення. Це значення порівнюють з довідковими даними і розраховують відносну похибку експерименту.

7.3. Контрольні запитання для захисту лабораторної роботи

1. Які речовини мають назву "полімери"? У чому особливість структурних ланок полімерів?
2. Чим відрізняються олігомери від полімерів? Охарактеризувати ці речовини.
3. Як називають молекули полімерів? Від яких характеристик цих молекул залежать властивості полімерів?
4. Які структурні рівні характерні для полімерів? Розкрити сутність молекулярного структурного рівня.
5. Розкрити класифікацію полімерів за будовою основної полімерної ланки. Які класи полімерів виділяє така класифікація?

6. Як класифікують полімери за структурою макромолекул? Охарактеризувати виділенні групи полімерів.
7. Розкрити надмолекулярний структурний рівень. Дати характеристику надмолекулярних структур аморфних і кристалічних полімерів.
8. У чому сутність явища релаксації? Які стани релаксації?
9. Від яких параметрів залежить виникнення стану релаксації? Як змінюються термомеханічні криві залежно від температури.
10. Охарактеризувати склоподібний стан полімерів. Які полімери мають такий стан?
11. Дати характеристику високоеластичному і в'язкотекучому станом полімерів.
12. Які зміни в аморфних полімерах мають назву "фазові переходи"?
13. Як змінюються властивості кристалічних полімерів у точках фазових переходів?
14. Які характеристичні температури застосовують для класифікації полімерів? На які групи розподіляє полімери така класифікація?
15. Охарактеризувати установку і порядок визначення температури розкладання полімерів.
16. Навести характеристику установки і розкрити порядок визначення температури плавлення.
17. Який метод застосовують для визначення густини полімерів? Який порядок проведення експерименту?

Лабораторна робота № 8. Визначення напружень при деформації згинання

Обладнання та матеріали: зразки балок із вуглецевої сталі, дерева; датчики омичного опору для встановлення деформації у перерізах балки; записуючий пристрій для фіксації сигналів датчиків; довідкова література.

8.1. Основні теоретичні положення щодо деформації згинання

Згинання – це такий вид деформації, при якому у поперечному перерізі брусу виникає внутрішній силовий фактор – згинальний момент. Брус, який згинають, називають балкою [8; 9; 18]. Зовнішні сили і момен-

ти сил розташовані у силовий площині. Якщо всі сили розміщені в одній площині, тоді згинання має назву плоске згинання. Головна площина балки проходить через поздовжню вісь балки й одну із центральних осей поперечного перерізу балки. Згинання може бути прямим, якщо силова площина співпадає з головною площиною балки. Косе згинання виникає тоді, коли вказані площини не співпадають. На рис. 21а наведені сили, момент сил і площини, в яких вони діють на балку.

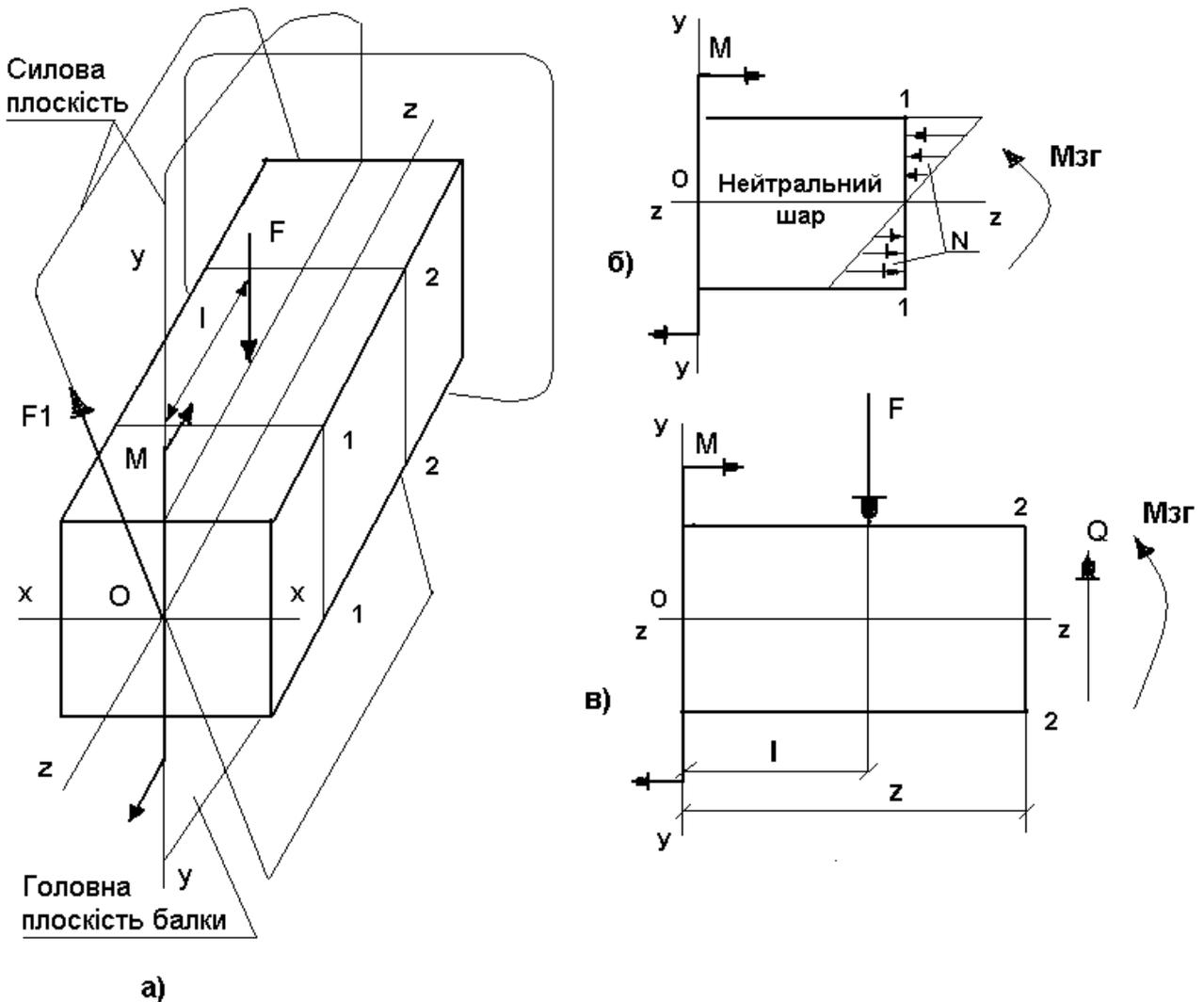


Рис. 21. Схеми дослідження деформації згинання балки

Із рис. 21а видно, що в головній площині на балку діють сила F і момент сил M . Сила F діє на відстані l від вільного кінця балки. Момент сил M прикладений до вільного кінця балки. Для встановлення внутрішніх силових факторів застосовують метод перерізів. Проводять перерізи 1-1 і 2-2. Спочатку розглядають рівновагу на ділянці до перерізу 1-1 (рис. 21б).

Зовнішній момент M розвертає цю ділянку за годинниковою стрілкою. Внутрішні сили пружності в перерізі 1-1 балки удержують ділянку в рівновазі. Відповідно до рис. 21б поздовжні сили пружності вище осі балки направлені ліворуч, а нижче осі балки направлені праворуч. Сумарна поздовжня сила пружності N в перерізі 1-1 дорівнює нулю. Момент сил пружності відносно осі x дорівнює сумі моментів окремих сил пружності в перерізі 1-1. Цей момент сил є згинальним моментом.

Відповідно до напрямів зовнішнього моменту M і згинального моменту $M_{зг}$ на рис. 21а і рис. 21б елементи балки вище осі z підлягають стисненню, а нижче осі z – розтягуванню. Це вказує на наявність в перерізі балки шару, якій не стискається і не розтягується. Такий шар має назву нейтрального шару. Нейтральний шар пересікає площину поперечного перерізу балки за лінією, яку називають нейтральною віссю. На рис. 21 нейтральний шар співпадає з віссю x і проходить через центр важкості перерізу. Одержані результати дослідження деформації згинання балки на ділянці до перерізу 1-1 (див. рис. 21а і рис. 21б) вказують, що в перерізі 1-1 виникає згинальний момент $M_{зг}$, а поздовжня сила дорівнює нулю. Таке згинання називають чистим згинанням.

На ділянці балки від вільного кінця до перерізу 2-2 (див. рис. 21а і 21в) діють зовнішні сила F і момент сил M . У результаті в перерізі балки 2-2 виникають поперечна сила Q і згинальний момент $M_{зг}$. Сила Q направлена перпендикулярно до осі балки. У перерізі 2-2 вона викликає зсув. Для визначення поперечної сили Q записують рівняння рівноваги для ділянки балки до перерізу 2-2:

$$\sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; \quad -F + Q = 0; \quad Q = F. \quad (15)$$

Згинальний момент знаходять із рівняння рівноваги моментів сил для ділянки балки до перерізу 2-2:

$$\sum_{i=1}^n M_x = 0; \quad M - F(z - l) - M_{зг} = 0; \quad M_{зг} = M - F(z - l). \quad (16)$$

Формули 15 і 16 вказують, що величини внутрішніх силових факторів визначають за правилами. Поперечна сила в перерізі 2-2 дорівнює алгебраїчній сумі проекцій зовнішніх сил на вісь y . Згинальний момент у перерізі 2-2 дорівнює алгебраїчній сумі моментів зовнішніх сил, які діють

на відсічену частину балки. Моменти розглядаються відносно нейтральної осі, яка співпадає з віссю x .

Таким чином, у разі деформації балки на ділянці від вільного кінця балки до перерізу 2-2 у цьому перерізі виникають поперечна сила і згинальний момент. Такий тип згинання має назву "поперечне згинання". Із формули 16 видно, що згинальний момент при поперечному згинанні залежить від відстані перерізу до вільного кінця балки.

Знак поперечної сили приймається додатним, якщо поперечна сила намагається повернути переріз за годинниковою стрілкою. У разі орієнтування на зовнішні сили додатний знак поперечної сили з'являється тоді, коли зовнішні сили піднімають лівий кінець балки або опускають правий кінець балки [8; 9; 18].

Згинальний момент приймається додатним, якщо зовнішні сили, які діють на лівий кінець балки, повертають його за годинниковою стрілкою, а сили, які діють на правий кінець балки, обертають його проти годинникової стрілки. В результаті балка згинається випуклістю вниз [8; 9; 18].

Для визначення внутрішніх напружень при деформації згинання розглядають поведінку шарів балки при чистому і поперечному згинанні.

При чистому згинанні виконуються гіпотези плоских перерізів і ненависнення шарів. Це зазначає, що перерізи балки плоскі і перпендикулярні поздовжній осі. Після згинання вони остаються плоскими і перпендикулярними до поздовжньої осі.

У процесі чистого згинання виникають нормальні напруження σ . Поперечні розміри перерізів не змінюються. Після згинання скривлюється поздовжня вісь балки. Вона утворює дугу окружності. Схема деформації ділянки балки між перерізами 1-1 і 2-2 (рис. 21а) наведена на рис. 22.

По висоті перерізів балки на рис. 22 виділяють шар, у якому нормальні напруження дорівнюють нулю. Цей шар, який має назву "нейтральний шар", проходить через центр важкості перерізу. На рис. 22 радіус кривизни нейтрального шару позначений ρ . Довжина ділянки між перерізами 1-1 і 2-2 до деформації згинання дорівнює: $l_0 = \rho \cdot df$. Ця величина відповідає довжині нейтральної осі. Абсолютне подовження шару на відстані y від нейтральної осі складає: $\Delta l = (\rho + y) \cdot df - \rho \cdot df = y \cdot df$. Тоді відносно подовження ϵ складе: $\epsilon = \Delta l / l_0 = y \cdot df / \rho \cdot df = y / \rho$. Якщо матеріал підкоряється закону Гука, то записують цей закон для розтягування ділянки на рис. 22 у вигляді: $\sigma = E \cdot \epsilon$. У результаті одержують залежність

нормального напруження при деформації згинання від положення шару в балці: $\sigma_{\zeta\bar{a}} = E \cdot y / \rho$.

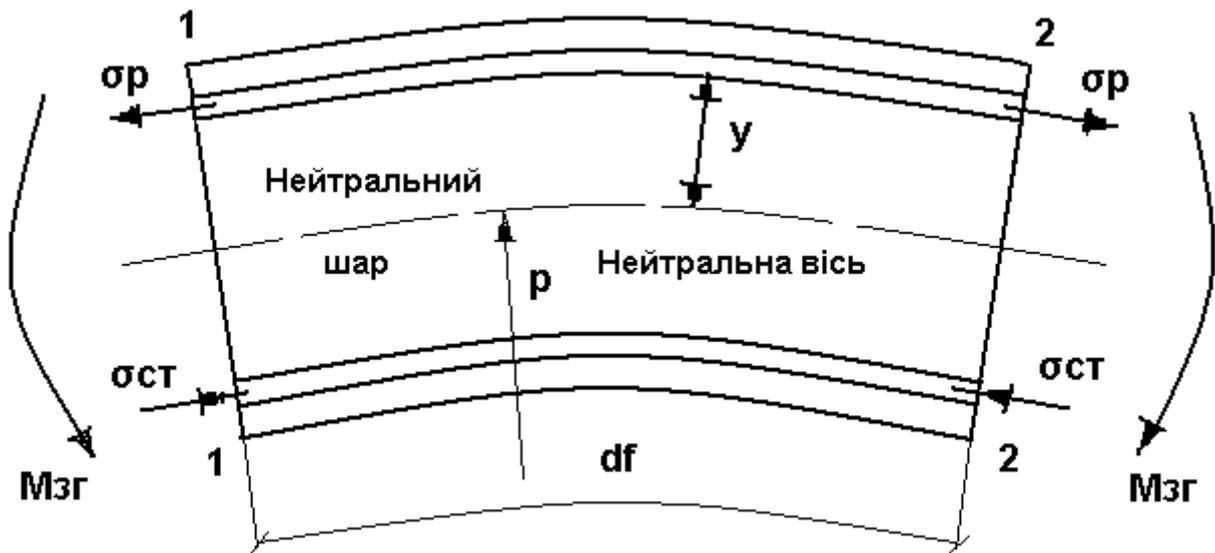


Рис. 22. Схема деформації ділянки балки між перерізами 1-1 і 2-2

Сумарний згинальний момент сил пружності у перерізі пов'язаний з радіусом кривизни нейтрального шару ρ і осевим моментом інерції перерізу J_x за допомогою формули: $M_{зг} = E \cdot J_x / \rho$. Із даної формули виражають відношення E/ρ , підставляють у формулу для $\sigma_{зг}$ і одержують вираз для визначення нормального напруження для будь-якого шару поперечного перерізу балки: $\sigma_{зг} = M_{зг} \cdot y / J_x$.

Нормальні напруження розподіляються неоднаково у перерізі балки. Еюра розподілу нормальних напружень у перерізі балки при деформації згинання наведена на рис. 23. Із рис. 23 видно, що максимальні напруження виникають на поверхні балки, тобто при $y = y_{\max}$. Величину y_{\max} підставляють у формулу для нормального напруження і одержують формулу для визначення напруження на поверхні балки: $\sigma_{зг} = M_{зг} \cdot y_{\max} / J_x$. Відношення J_x / y_{\max} називають осевим моментом опору або моментом опору перерізу при згинанні. Його позначають W_x . Осевий момент опору W_x враховує вплив форми, розмірів перерізу на міцність балки при згинанні. Тому його вимірюють в мм^3 . З урахуванням W_x формула для розрахунку нормального напруження на поверхні балки має вигляд:

$$\sigma_{зг} = M_{зг} / W_x \cdot \quad (17)$$

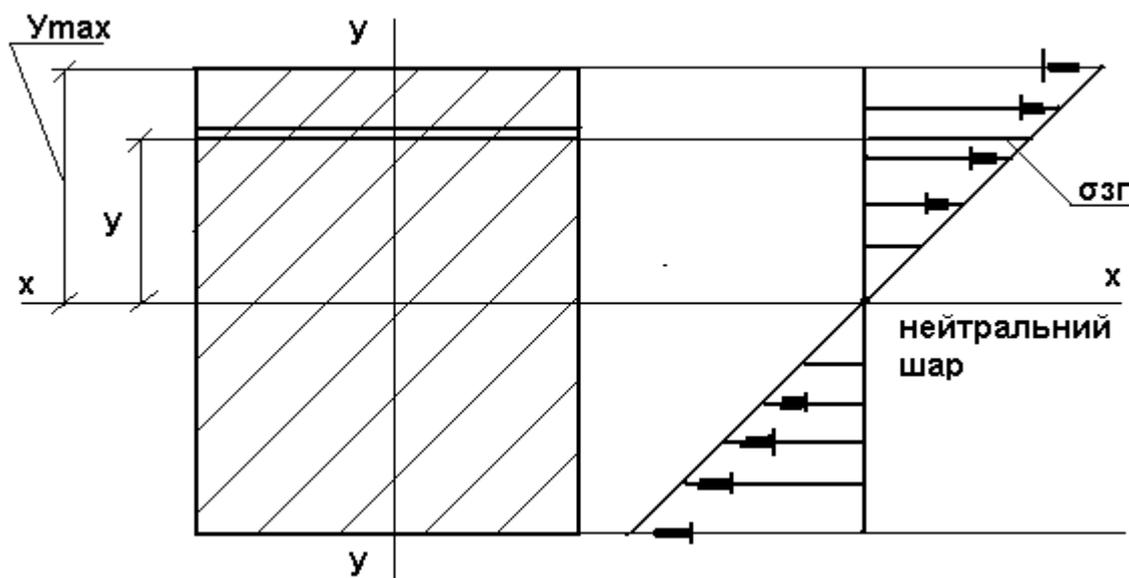


Рис. 23. Епюра розподілу нормальних напружень у перерізі балки

Поперечна сила, яка виникає у перерізі 2-2 (рис. 21в) у результаті дії зовнішньої сили F , є рівнодіючою силою дотичних сил пружності. Ці сили виникають у поперечному перерізі 2-2 і пов'язані з дотичними напруженнями. Їх позначають τ . Дотичні напруження діють попарно, тобто у поздовжніх перерізах балки виникають такі ж дотичні напруження. Епюра розподілу дотичних напружень у перерізі балки наведена на рис. 24.

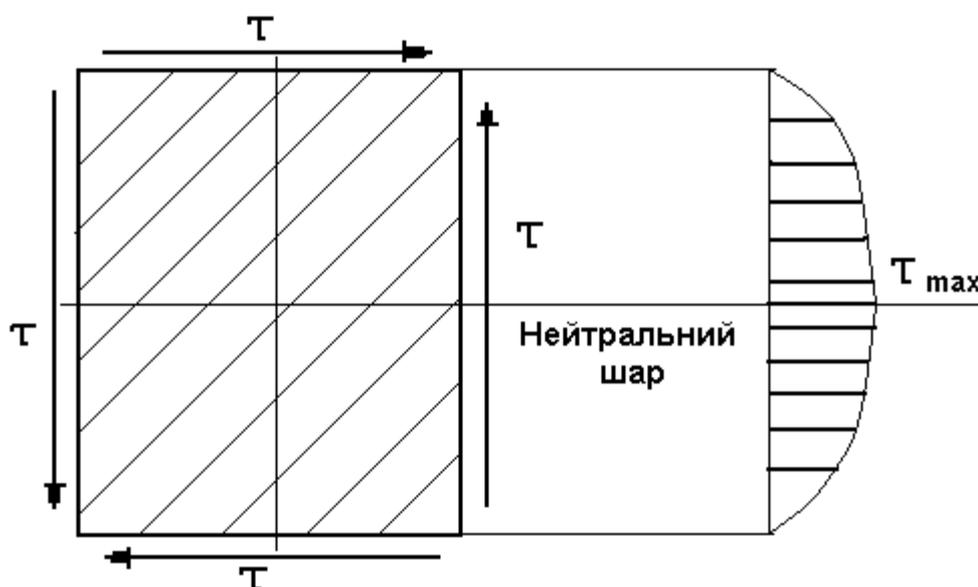


Рис. 24. Епюра розподілу дотичних напружень у перерізі балки

Як видно із рис. 24, найбільшого значення дотичні напруження досягають на нейтральній осі, а найменшого значення на поверхні балки. Із порівняння рис. 23 і 24 видно, що схема розподілу нормальних напружень відрізняється від схеми розподілу дотичних напружень у перерізі балки. Тому для довгих балок розрахунків проводять за нормальними напруженнями. Короткі балки, які навантажені значними поперечними силами, розраховують за дотичними напруженнями.

На рис. 21а і рис. 21в сила F викликає скривлення балки. Знімання сили F приводить до випрямлення балки тоді, коли матеріал балки підпорядковується закону Гука. Вісь балки називають пружною лінією. Форма пружної лінії характеризує переміщення при згинанні. Ця лінія при прямому поперечному згинанні залишається в силовій площині. Поперечний переріз балки переміщується вертикально і горизонтально. Крім того, переріз обертається на кут β . Це вказано на рис. 25.

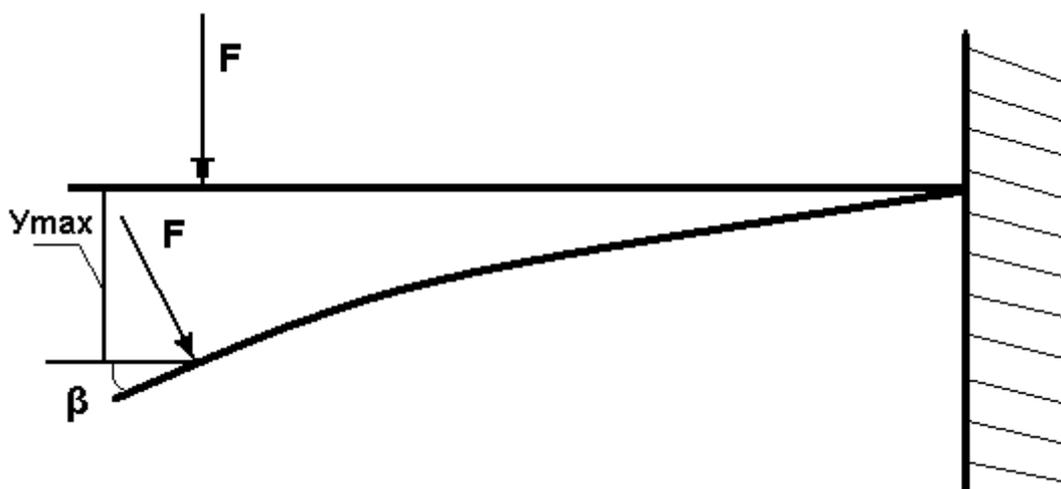


Рис. 25. Переміщення балки при згинанні

При пружних деформаціях балки горизонтальні переміщення перерізів балки незначні, тому їх не враховують. Вертикальні переміщення центру важкості перерізу називають прогином. Його позначають y . Максимальний прогин позначають f . На рис. 25 він дорівнює y_{\max} . Для забезпечення нормальної роботи балки під навантаженням проводять розрахунки на жорсткість. Умова жорсткості потребує, щоб максимальний прогин f не перевищував допустимого прогину $[f]$, тобто $f \leq [f]$. Для простих типів навантаження визначені формули розрахунків прогину і куту повороту, які наведені у довідковій літературі.

8.2. Порядок проведення роботи

Робота включає теоретичне й експериментальне визначення нормального напруження у перерізах навантаженої двоопорної балки та величини прогину балки. Вантаж прикладений до середини балки. У місці прикладення виникає зосереджена сила. Дослідження проводять за допомогою методу, який запропонований в роботі [16]. Складають установку для навантаження балки відповідно до схеми, яка наведена на рис. 26.

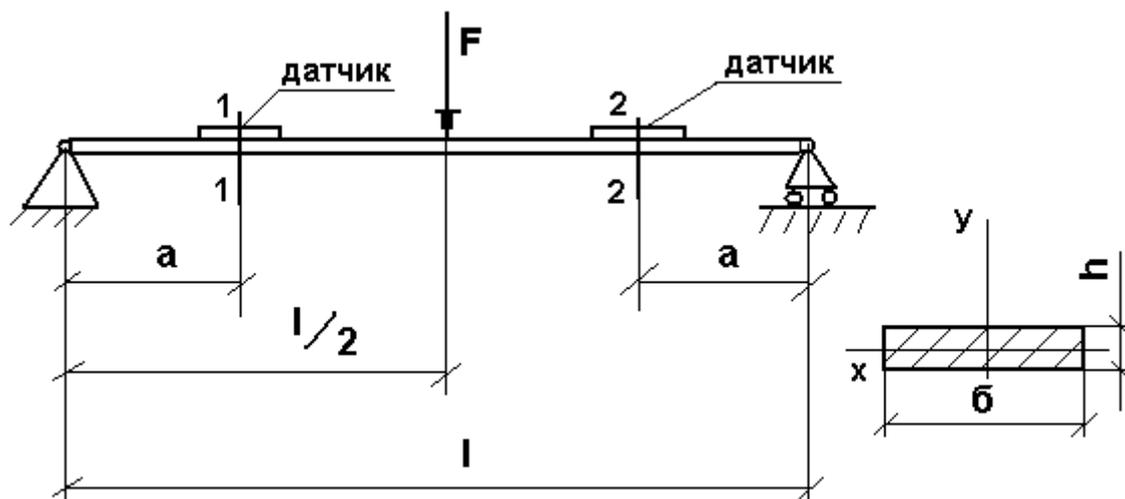


Рис. 26. Схема навантаження двоопорної балки

Теоретичне і експериментальне визначення нормального напруження у перерізі балки проводять на основі даних варіантів, котрі представлені у табл. 14.

Таблица 14

Вихідні дані для визначення напружень і прогину балки при деформації згинанні

Варіант	Маса вантажу, кг	Сила, F, Н	Ширина балки, б, м	Товщина балки, h, м	Довжина балки, l, м	Відстань, а, м
1	2	3	4	5	6	7
1	0,5, 1,5, 2,5	4,9; 14,7; 24,5	0,05	0,003	0,75	0,20
2	1, 2, 3	9,8; 19,6, 29,4	0,05	0,003	0,50	0,13
3	1, 2, 3	9,8; 19,6, 29,4	0,05	0,005	0,50	0,13

1	2	3	4	5	6	7
4	1,5; 2,5; 3,5	14,7; 24,5; 34,3	0,05	0,005	0,75	0,20
5	2,5; 3,5; 4,5	24,5; 34,3; 44,1	0,10	0,005	0,50	0,13
6	3; 4; 5	29,4; 39,2; 49	0,10	0,005	0,50	0,13
7	5; 6; 7	49; 58,8; 68,6	0,10	0,005	0,75	0,20
8	3; 5; 7	29,4; 49; 68,6	0,10	0,007	0,50	0,13
9	4; 5; 6	39,2; 49; 58,8	0,10	0,007	0,75	0,20
10	4; 6; 8	39,2; 58,8; 78,4	0,10	0,007	1,00	0,25
11	5; 7; 9	49; 68,6; 88,2	0,15	0,005	0,75	0,20
12	6; 7; 8	58,8; 68,6; 78,4	0,15	0,005	1,00	0,25
13	8; 9; 10	78,4; 88,2; 98	0,15	0,007	1,00	0,25

Теоретичне визначення розпочинають з розкриття параметрів формули для нормального напруження 17. Сумарний згинальний момент сил пружності у перерізах 1-1 і 2-2 балки (рис. 26) знаходять за формулою: $M_x = \Delta F \cdot a/2$. Далі на основі розмірів балки записують вирази для осевого моменту інерції перерізу балки J_x і осевого моменту опору перерізу балки W_x : $J_x = a \cdot h^3/12$; $W_x = a \cdot h^2/6$ [1; 9; 18]. Шляхом визначення вказаних параметрів і підстановки їх у формулу 17 одержують значення для нормального напруження на поверхні балки $\sigma_{зг}$.

Експериментальне визначення нормального напруження на поверхні балки розпочинають з підключення тензOMETричних датчиків до прибору ІД-70, який фіксує показання датчиків [16]. Спочатку знімають показання датчиків без навантаження балки. Далі відповідно до варіанта завдання (табл. 14) визначають шаг навантаження і приступають до навантаження балки, як вказано на схемі (рис. 26).

На кожному кроці навантаження записують показання прибору ІД-70, який одержує сигнали від датчиків. На їх основі встановлюють приріст показань датчиків ΔD_1 і ΔD_2 . Для кожного датчика одержують три значення ΔD , оскільки за кожним варіантом завдання (табл. 14) проводять три

навантаження. За результатами приросту показань тензодатчиків ΔD_1 і ΔD_2 розраховують їх середнє значення $\Delta D_{\text{сер}}$ за формулою:

$$\Delta D_{\text{сер}} = \frac{\sum_{i=1}^{n=3} \Delta D_1 + \sum_{i=1}^{n=3} \Delta D_2}{6}. \quad (18)$$

На основі $\Delta D_{\text{сер}}$ і коефіцієнта тензочутливості за напруженням (γ) визначають величину нормального напруження у перерізі балки за формулою: $\sigma_{3\Gamma} = \gamma \cdot \Delta D_{\text{сер}}$. Одержані значення теоретичного й експериментального напруження дорівнюють і визначають величину відносної погрішності експерименту.

Для визначення прогину балки при деформації згинання застосовують формулу для наведеної на рис. 26 схеми навантаження балки [1; 8; 18]. Така формула має вигляд:

$$f = \frac{F \cdot l^3}{48E \cdot J_x}. \quad (19)$$

Одержане значення прогину порівнюють з допустимим значенням прогину, котре приймають за $1/200 l$.

8.3. Контрольні питання для захисту лабораторної роботи

1. Які внутрішні силові фактори виникають при деформації згинання?
2. Розкрити типи деформацій згинання. В яких площинах розташовані зовнішні сили?
3. Який метод застосовують для вивчення внутрішніх силових факторів? Розкрити сутність цього методу.
4. Яким типам деформації підлягають внутрішні елементи балки при згинанні? Охарактеризувати поняття "нейтральний шар".
5. Які внутрішні силові фактори виникають у перерізі балки при поперечному згинанні? Визначити ці фактори.

6. Сформулювати правила прийняття знаку внутрішніх силових факторів при деформації згинання.

7. Які напруження виникають при чистому згинанні? Як визначають ці напруження?

8. Які напруження утворюються при поперечному згинанні? Як діють такі напруження?

9. Охарактеризувати горизонтальні і вертикальні переміщення перерізів балки при деформації згинання. Як визначають такі переміщення?

10. Розкрити порядок визначення нормального напруження у перерізах двоопорної балки.

11. Як визначають вертикальне переміщення двоопорної балки?

Змістовний модуль 4. Механічні передачі. Деталі машин

Лабораторна робота № 9. Дослідження деталей обертального руху

Обладнання та матеріали: зразки валів різного діаметру; довідкова література.

9.1. Основні теоретичні положення

Деталлями, які підлягають деформації кручення, є вали редукторів, коробок передач. Кручення вала проходить в результаті навантаження вала парами сил із моментами в площинах, які перпендикулярні поздовжній осі вала [8; 18]. При крученні у поперечному перерізі вала виникає внутрішній силовий фактор – крутильний момент. Схема поведінки вала при деформації кручення наведена на рис. 27.

Із рис. 27 видно, що при крученні поздовжні елементи вала скривлюються і розвертаються на певний кут. Цей кут позначений γ . Його називають кутом зсуву. Поперечні перерізи вала розвертаються на кут φ , який має назву "кут закручення". У той же час довжина вала і розміри поперечного перерізу вала не змінюються. При довжині вала l , радіусі перерізу R кут зсуву γ і кут закручення φ пов'язані співвідношенням: $\varphi/\gamma = l/R$. Кути γ і φ називають кутовими деформаціями. Їх вимірюють у радіанах.

У процесі дослідження кручення вала виконується гіпотеза плоских перерізів. Переріз вала плоский і перпендикулярний поздовжній осі. Після деформації він не змінюється. Друга гіпотеза передбачає, що після деформації відстань між поперечними перерізами вала 1-1 і 2-2 (рис. 27а) не змінюється. Вісь вала не скривлюється, а діаметри поперечних перерізів не змінюються. Відповідно до третьої гіпотези радіус поперечного перерізу вала не скривлюється. Він залишається прямою лінією.

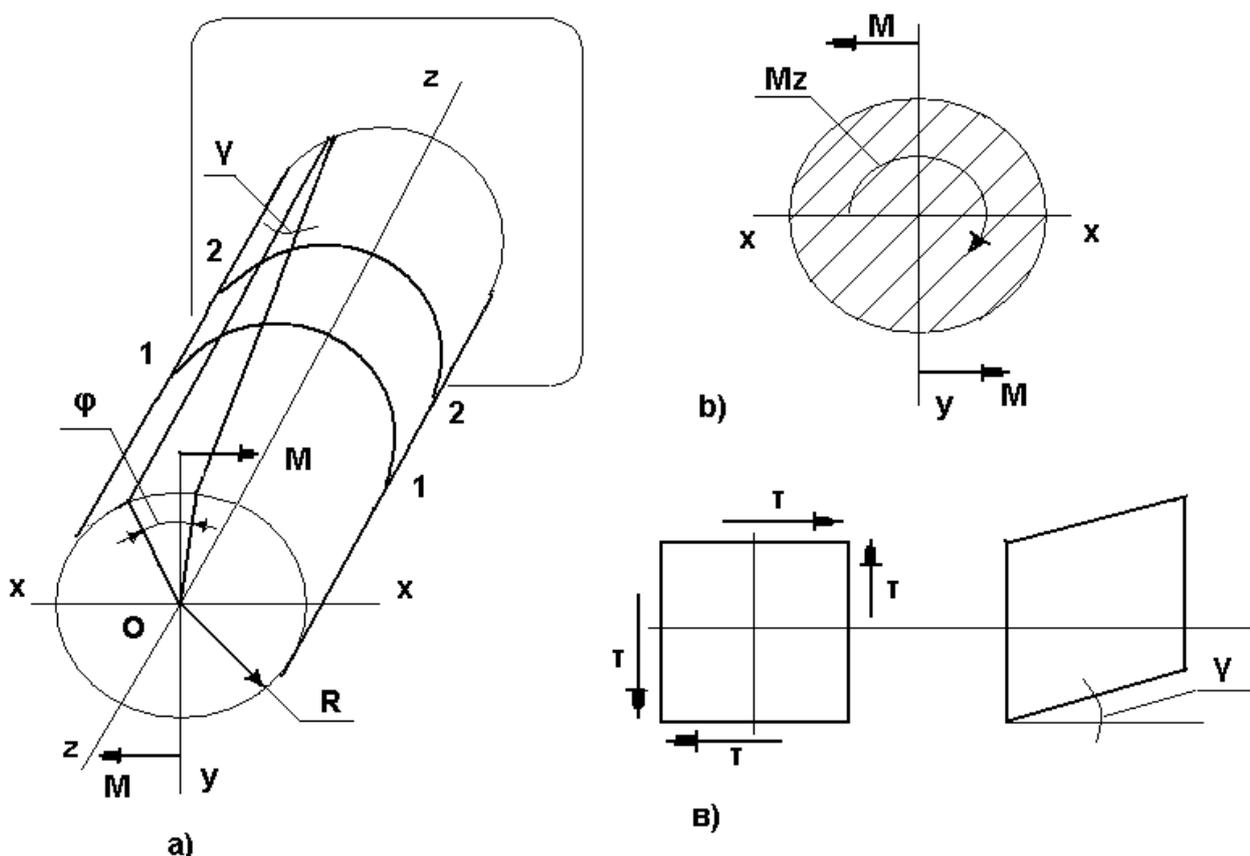


Рис. 27. Схема дослідження вала при деформації кручення

Для визначення крутильного моменту M_z на рис. 27а розглядають переріз 1-1. Вивчають рівновагу відсіченої частини вала. Зовнішній момент пари сил розвертає відсічену частину вала проти годинникової стрілки. Внутрішні сили пружності вала попарно створюють моменти сил. Сумарний момент внутрішніх сил пружності є крутильним моментом M_k . Він дорівнює сумі моментів зовнішніх сил і є M_z . Як видно із рис. 27б, цей момент розвертає частину вала за годинниковою стрілкою.

Крутильні моменти змінюються за довжиною вала. Тому на основі величин крутильних моментів будують графік-епюру крутильних моментів уздовж осі вала. Для цього застосовують знак крутильного моменту. Крутильний момент приймається додатним тоді, коли зовнішні сили спря-

мовані за годинниковою стрілкою [8; 9; 18]. При цьому самий крутильний момент спрямований у протилежний бік.

Будову графіка-епюри розпочинають з проведення осі епюри паралельної до осі вала. З урахуванням масштабу вгору відкладають додатні значення крутильних моментів, а вниз – від'ємні значення крутильних моментів.

Для встановлення напружень при деформації кручення на рис. 27 виділяють елемент вала між перерізами 1-1 і 2-2. Спочатку при крученні виникає напружений стан (чистий зсув). На боковій поверхні елемента діють дотичні напруження τ і проходить деформація зсуву (рис. 27в). Якщо матеріал підкоряється закону Гука, тоді дотичне напруження τ за законом Гука дорівнює множенню модуля пружності при зсуві G на кут зсуву γ . Епюра розподілу дотичних напружень при крученні наведена на рис. 28.

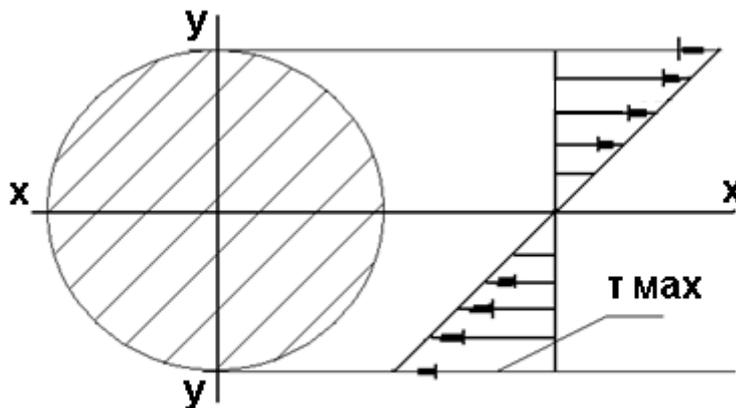


Рис. 28. Розподіл дотичних напружень при крученні вала

Із рис. 28 видно, що дотичні напруження при крученні досягають максимального значення на поверхні вала. Величину максимального дотичного напруження при крученні знаходять за формулою: $\tau_{\max} = M_k / W_p$. Величина W_p – це полярний момент опору або момент опору при крученні. Для круглого перерізу він дорівнює: $W_p = \pi \cdot d^3 / 16$.

Оскільки максимальне дотичне напруження при крученні досягає на поверхні вала, то руйнування вала починається з його поверхні. Для запобігання руйнування вала вводиться умова міцності. Максимальне дотичне напруження при крученні не повинно перевищувати допустиме дотичне напруження при крученні, тобто: $\tau_{\max} \leq [\tau_k]$.

9.2. Порядок проведення роботи

Робота включає дослідження вала механізму при деформації кручення, а також визначення оптимального розташування шківів на вала механізму. Дослідження проводять на основі даних варіантів, які наведені у табл. 15.

Таблиця 15

Вихідні дані для дослідження вади механізму

Варіант	Швидкість, ω , рад/с	Величина потужності, кВт·год				
		1 шків	2 шків	3 шків	4 шків	5 шків
1	18	3,50	2,00	1,00	0,50	-
2	23	4,50	2,00	1,00	1,00	0,50
3	18	3,00	1,50	1,00	0,50	-
4	24	5,00	2,00	1,50	1,00	0,50
5	25	5,50	2,50	2,00	1,00	-
6	20	5,50	2,50	1,50	1,00	0,50
7	23	6,00	3,00	2,00	1,00	-
8	24	6,50	2,50	2,00	1,25	0,75
9	25	6,50	3,00	2,00	1,50	-
10	25	7,00	3,25	2,25	1,00	0,50
11	25	7,00	3,50	2,50	1,00	-
12	27	7,50	3,00	2,25	1,50	0,75
13	27	7,50	3,00	2,00	1,50	1,00

Роботу виконують на основі прикладу дослідження вала, який наведений у роботі [9]. Досліджують вал механізмом, який обертається з постійною кутовою швидкістю, ω , котра складає 20 рад/с. На валу розташовуються чотири шківви. На цей вал через перший шків передається потужність, яка дорівнює 3 кВт. Така потужність розподіляється між шківвами. У результаті величина потужності на другому, третьому, четвертому шківвах відповідно дорівнює: 1,5 кВт, 1 кВт, 0,5 кВт.

Вал механізму зазнає впливу деформації кручення. Відповідно до теоретичних положень кручення – це такий вид деформації, за якої у поперечному перерізі вала виникає один внутрішній силовий фактор – крутильний момент, M_k . Крутильні моменти діють у площинах, які перпендикулярні поздовжній осі [1; 3; 18].

Крутильні моменти на валу механізму виникають у результаті прикладення рушійного моменту до першого шківів. На решті шківів з'являються обертальні моменти опору. Одна з можливих схем розташування шківів на валу наведена на рис. 29.

Закручення вала відбувається за рахунок дії рушійного моменту M_1 та моментів опору M_2, M_3, M_4 . Тому моменти на рис. 29 мають різний напрям.

Для визначення зовнішніх моментів на шківів вала використовують пряму залежність між потужністю та кутовою швидкістю. На основі такої залежності знаходять величини моментів на шківів, котрі відповідно дорівнюють:

$$M_1 = \frac{W}{\omega} = \frac{3000}{20} = 150 \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad M_2 = \frac{1500}{20} = 75 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (20)$$

$$M_3 = \frac{1000}{20} = 50 \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad M_4 = \frac{500}{20} = 25 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (21)$$

Для визначення крутильних моментів за перерізом вала застосовують метод перерізів. На рис. 29 вказано місця проведення перерізів. Кількість перерізів складає чотири. У кожному перерізі відзначають напрям дії зовнішніх моментів і крутильних моментів.

Для розрахунку крутильних моментів за перерізом вала виходять із умови рівноваги вала. Тоді крутильні моменти у перерізах дорівнюють сумі моментів зовнішніх сил, котрі діють на відсічену частину вала.

У перерізу 1-1 величина крутильного моменту дорівнює:

$$\sum_{i=2}^n M_i = 0; \quad -M_4 + M_{k1} = 0; \quad M_{k1} = M_4 = 25 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (22)$$

У перерізі 2-2 крутильний момент складає:

$$-M_4 - M_3 + M_{k2} = 0; \quad M_{k2} = M_4 + M_3 = 25 + 50 = 75 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (23)$$

Для перерізу 3-3 умова рівноваги вала записується у вигляді:

$$\begin{aligned} -M_4 - M_3 + M_1 - M_{k3} &= 0; \\ M_{k3} &= M_1 - M_4 - M_3 = 150 - 25 - 50 = 75 \text{ Н}\cdot\text{м}. \end{aligned} \quad (24)$$

У четвертому перерізі крутільний момент становить:

$$-M_4 - M_3 + M_1 - M_2 - M_{к4} = 0; \quad (25)$$

$$M_{к4} = M_1 - M_2 - M_3 - M_4 = 150 - 75 - 50 - 25 = 0.$$

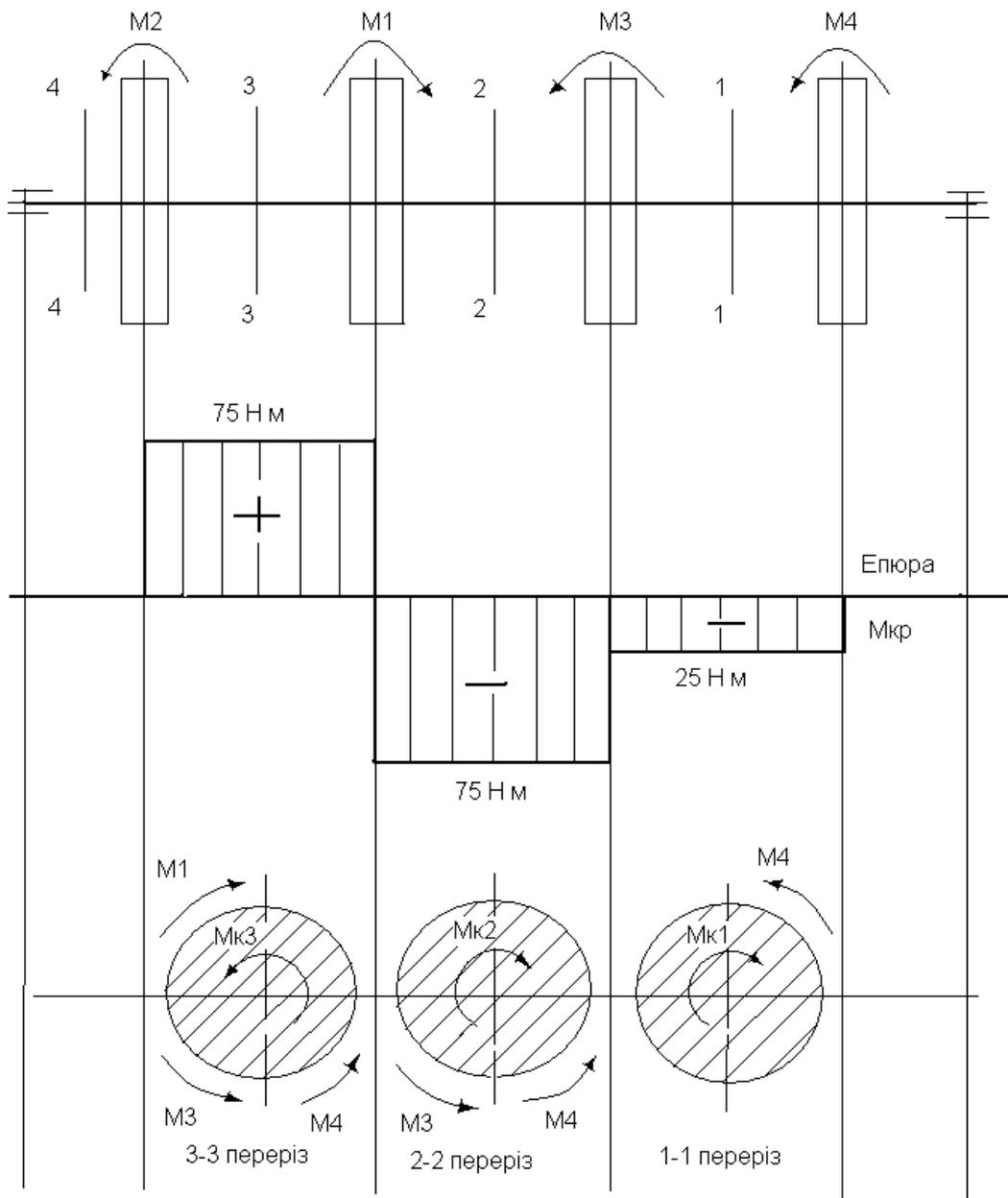


Рис. 29. Перша схема розміщення шківів на валу механізму

У процесі дослідження деформації велике значення має знак крутільного моменту. Крутільний момент приймається додатним тоді, коли

зовнішні моменти сил спрямовані за годинниковою стрілкою [13]. При цьому самий крутильний момент спрямований у протилежний бік.

Тоді на рис. 29 у перерізах 1-1 і 2-2 крутильні моменти є від'ємними. У перерізі 3-3 крутильний момент – додатний, оскільки рушійний момент перевищує моменти M_3 і M_4 .

На основі знайдених значень крутильних моментів будується еюра крутильних моментів, котра наведена на рис. 29. Із рис. 29 видно, що крутильні моменти мають найбільші значення на ділянках між шківками, де проходять перерізи 2-2 і 3-3.

Еюра крутильних моментів на рис. 29 характеризує змінення величини цих моментів за довжиною вала механізму. Отже, шляхом зміни положення рушійного шківка досягається найбільш оптимальне розташування шківків на валу механізму. За оптимальне розміщення шківків на валу механізму приймають таке розташування, за якого досягаються найменші значення крутильних моментів. Відповідно до другого підходу необхідно, щоб близькими були найбільші значення додатних і від'ємних крутильних моментів.

На рис. 29 наведена схема розташування шківків на валу, на якій рухомий шків розміщується в центрі вала. Другою схемою розташування шківків на валу механізму є схема, яка включає розміщення рушійного шківка біля опори вала. Така схема наведена на рис. 30.

На рис. 30 вказаний напрям моментів зовнішніх сил та виникнення і напрям крутильних моментів у перерізах вала. На основі даних рис. 30 визначають величини крутильних моментів у перерізах.

У перерізі 1-1 величина крутильного моменту дорівнює:

$$-M_4 + M_{к1} = 0; \quad M_{к1} = M_4 = 25 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (26)$$

Для перерізу 2-2 умова рівноваги вала має вид:

$$-M_4 - M_3 + M_{к2} = 0; \quad M_{к2} = M_4 + M_3 = 25 + 50 = 75 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (27)$$

У перерізі 3-3 величина крутильного моменту складає:

$$-M_4 - M_3 - M_2 + M_{к3} = 0; \quad M_{к3} = M_2 + M_4 + M_3 = 75 + 25 + 50 = 150 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (28)$$

Відповідно до рис. 30 крутільні моменти у перерізах вала є від'ємними. Це обумовлено тим, що моменти M_2 , M_3 , M_4 спрямовані проти годинникової стрілки. На основі величини крутільних моментів та їх знака будується еюра крутільних моментів, яка наведена на рис. 30.

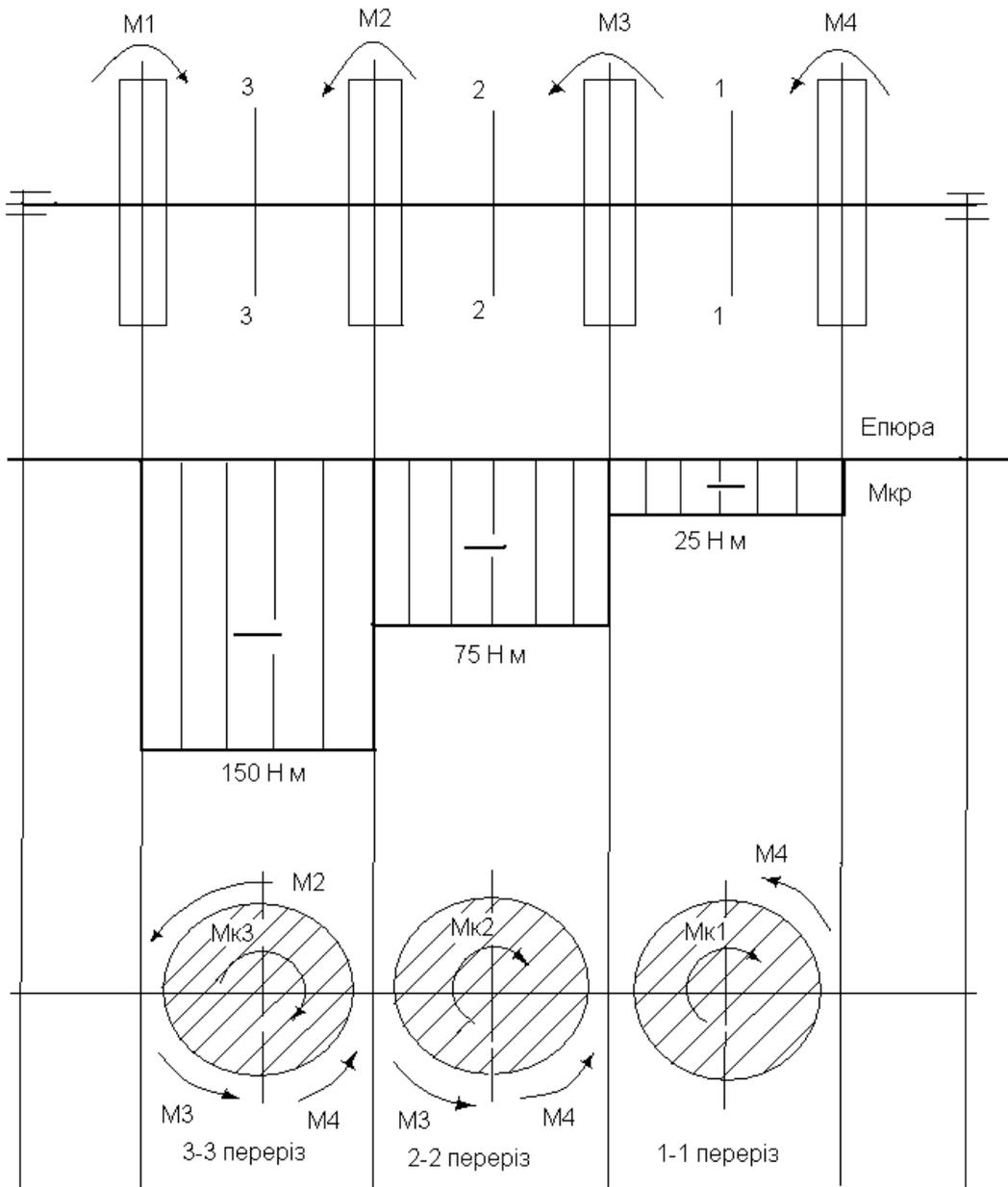


Рис. 30. Друга схема розташування шківів на валу механізму

Із рис. 30 видно, під час розміщення рушійного шківа біля опори вала виникає значний крутільний момент на ділянці, де проходить переріз 3-3, тобто поряд із рушійним шківом.

Для вибору оптимальної схеми розташування шківів на валу механізму проводиться порівняння епюр крутильних моментів, які наведені на рис. 29 і 30. Менші значення крутильних моментів одержуються в разі розміщення рушійного шківа близько до центру вала, тобто відповідно схеми, наведеної на рис. 29. Крім того, на схемі рис. 29 досягається найменша різниця між найбільшими додатним і від'ємним крутильними моментами.

9.3. Контрольні запитання для захисту лабораторної роботи

1. Які деталі механізмів підлягають деформації кручення? У чому сутність деформації кручення?
2. На основі схеми дослідження вала при крученні пояснити кут зсуву і кут закручення.
3. Які гіпотези застосовують у процесі дослідження вала при крученні?
4. За допомогою якого методу визначають крутильний момент?
5. Охарактеризувати порядок побудови епюри крутильних моментів.
6. Які напруження виникають при деформації кручення? Як вивчають такі деформації?
7. Охарактеризувати епюру розподілу напружень при крученні. У якому місці вала напруження досягають максимального значення?
8. Розкрити порядок розрахунку напружень при крученні.
9. Охарактеризувати умові міцності при крученні.
10. Які виділяють напрями дослідження вала механізму?
11. Які умови застосовують для визначення крутильних моментів у перерізах вала?
12. Сформулювати правила визначення знаку крутильних моментів.
13. Охарактеризувати вимоги для встановлення оптимального розташування шківів на валу.

Лабораторна робота № 10. Перевірка деталей на міцність при різних деформаціях

Обладнання та матеріали: заклепочні з'єднання; стандарти та довідкова література.

10.1. Теоретичні положення щодо деформації зсуву (зрізу)

Деформація зсуву – це такий вид деформації, при якому у поперечному перерізі бруса виникає один внутрішній силовий фактор – поперечна сила [1; 9; 18]. Ця деформація проходить у разі дії на брус рівних за величиною протилежно направлених сил, які перпендикулярні осі бруса. Схема дії вказаних сил наведена на рис. 31а.

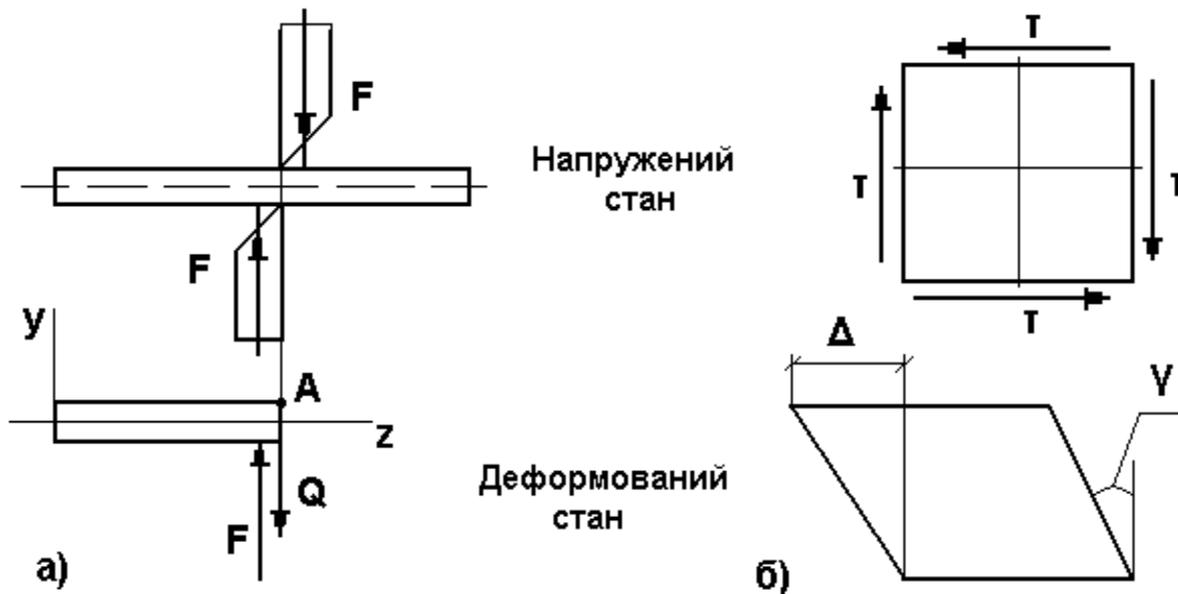


Рис. 31. Схема дослідження деформації зсуву

За допомогою методу перерізів визначають поперечну силу Q у перерізу бруса із умови рівноваги частини бруса (рис. 31а). Сила Q дорівнює силі F . Встановлена поперечна сила Q викликає появлення дотичних напружень τ . Відповідно до умови рівноваги точки A (рис. 31а) у брусі в безконечно малому елементі (рис. 31б) на горизонтальних і вертикальних площадках виникають рівні за величиною дотичні напруження протилежного напрямку. Напрямок напружень від ребра безконечно малого елемента бруса або до ребра елемента бруса. Тут діє закон парності дотичних напружень. Такий напружений стан називають чистим згинанням.

У результаті дії дотичних напружень площадки елементи бруса зсовуються на кут γ (рис. 31б). Цей кут називають кутом зсуву. Кут зсуву γ та модуль пружності зсуву G застосовують для визначення дотичного

напруження τ за допомогою формули: $\tau = G \cdot \gamma$. Одержана залежність відповідає закону Гука. Це вказує, що при деформації зсуву виконується закон Гука. Модуль пружності при зсуві G і модуль пружності при розтягуванні E пов'язані співвідношенням: $G \cong 0,4E$. Із цієї формули знаходять G .

Необхідно зазначити, що в результаті дії поперечної сили проходить руйнування деталі, тобто деталь перерізається перпендикулярно осі. Це характеризує деформацію зрізу.

У процесі дослідження деталей на зсув (зріз) приймають ряд припущень [1; 9; 18]. Так, не враховується згинання деталей. Це пов'язано з тим, що діючі сили утворюють пару сил. Також приймається, що сили пружності рівномірно розподіляються за перерізом кожної заклепки. У разі застосування декількох заклепок зовнішня сила рівномірно розподіляється між заклепками. Вказані припущення спрощують розрахунки при деформації зсуву. Дотичне напруження знаходять за формулами:

$$\tau_{зс} = Q/A_{зс} ; \quad Q = F/k \quad (29)$$

де $A_{зс}$ – площа зсуву;

k – кількість деталей.

Одержане значення дотичного напруження $\tau_{зс}$ порівнюють з величиною допустимого дотичного напруження при зсуві $[\tau_{зс}]$ за формулою: $\tau_{зс} \leq [\tau_{зс}]$. Ця формула є умовою міцності при зсуві (зрізі). Допустиме дотичне напруження при зсуві приймають 0,25 – 0,35 напруження, яке характеризує межу міцності σ_B .

Одночасно зі зсувом проходить зминання бокової поверхні у місці контакту поверхонь деталей. Зминання відбувається внаслідок передачі навантаження від однієї поверхні до другої поверхні. В результаті на боковій поверхні виникають стискаючі напруження, які називають напруженнями зминання. Їх позначають $\sigma_{зм}$.

Для спрощення розрахунків приймають допущення, які подібні допущенням при зсуві (зрізі). Також це стосується і заклепчного з'єднання. Тому у процесі розрахунку бокової циліндрової поверхні заклепки (рис. 32а, рис. 32б) враховують, що напруження на цій поверхні розподілені не рів-

номірно. Тому розрахунок ведуть для найбільш навантаженої точки С. У результаті замість циліндрової поверхні беруть плоску поверхню, яка проходить через діаметр заклепки (рис. 32в).

Величину напруження при зминанні знаходять за формулою: $\sigma_{зМ} = F/A_{зМ}$. Площа зминання $A_{зМ}$ за даними рис. 32 визначають множенням діаметра заклепки d на товщину листа δ . Відповідно до умови міцності при зминанні одержане значення напруження при зминанні не повинно перевищувати допустимого напруження при деформації зминання $[\sigma_{зМ}]$, тобто: $\sigma_{зМ} \leq [\sigma_{зМ}]$. Допустиме напруження при зминанні приймають 0,35 – 0,40 межі текучості σ_T для матеріалу.

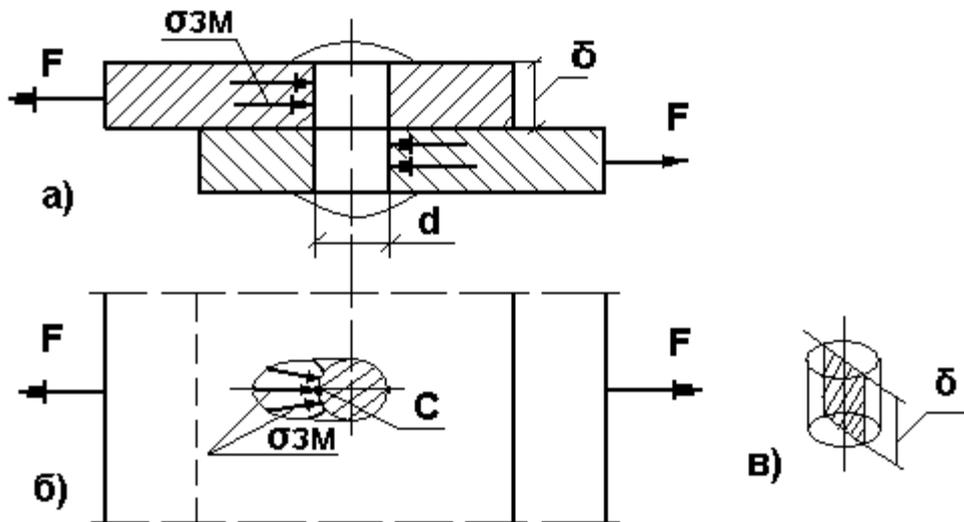


Рис. 32. Схема розподілу напружень у заклепочному з'єднанні при деформації зминання

10.2. Порядок проведення роботи

Робота передбачає перевірку міцності з'єднаних деталей при різних деформаціях. Різні деформації одночасно виникають у навантаженому заклепочному з'єднанні. Деталі такого з'єднання випробують деформації зсуву (зрізу), зминання, розтягування.

Роботу проводять відповідно до даних варіантів, які наведені у табл. 16.

Перевірку деталей на міцність проводять відповідно до прикладів дослідження заклепочного з'єднання, яке включає два сталевих аркуша з'єднаних п'ятьма заклепками [10]. Кожна заклепка має діаметр, $d = 10$ мм. Заклепки розташовані в ряд. Крок між заклепками складає 30 мм. На таке з'єднання аркушів за допомогою заклепок діють сили, F , величина яких становить 100 кН. Кожен із з'єднаних аркушів має товщину δ , яка дорівнює 9 мм, і ширину b , котра складає 170 мм.

Таблиця 16

Вихідні дані для перевірки міцності деталей заклепочного з'єднання

Варіант	Сила, F , кН	Діаметр/кількість заклепок, d , мм / т	Розміри аркушів, мм		Допустимі напруження, МПа		
			товщина, δ	ширина, b	зсув (зріз), $[\tau_{зр}]$	зминання, $[\sigma_{зм}]$	розтягування, $[\sigma_p]$
1	50	6/3	3	170	75	160	120
2	55	6/3	3	170	75	160	120
3	60	6/4	3	180	75	160	120
4	70	6/4	3	190	75	160	120
5	80	6/4	5	190	75	160	120
6	90	8/4	5	200	85	230	140
7	100	8/4	5	200	85	230	140
8	95	8/5	5	210	85	230	140
9	120	8/5	7	230	85	230	140
10	115	8/5	7	230	85	230	140
11	125	8/6	7	250	85	230	140
12	130	10/6	7	220	90	250	160
13	110	10/5	10	220	90	250	160
14	120	10/6	10	240	90	250	160
15	130	10/6	10	240	90	250	160

Допустиме напруження у процесі зсуву (зрізу), зминанні, розтягуванні відповідно дорівнюють: $[\tau_{зр}] = 90$ МПа; $[\sigma_{зм}] = 250$ МПа; $[\sigma_p] = 140$ МПа.

Для дослідження заклепочного з'єднання складають схему з'єднання двох сталевих аркушів. Така схема наведена на рис. 33. Із рис. 33

видно, що на з'єднання аркушів діють сили F у паралельних площинах на близькій відстані одна від одної. Ці сили спрямовані у протилежні сторони.

Відповідно до рис. 33 переріз, де виникає деформація, співпадає зі стиком аркушів. Розглянуті теоретичні основи вказують, що при деформації зсуву у поперечному перерізі бруса виникає один внутрішній силовий фактор – поперечна сила Q . У процесі зсуву поперечна сила викликає дотичне напруження $\tau_{зр}$. Крім того, приймають ряд припущень [8; 9; 18]. Так, не враховують згинання деталей. Також приймають, що сили пружності рівномірно розподіляються за перерізом кожної заклепки. У разі застосування декількох заклепок зовнішня сила рівномірно розподіляється між заклепками.

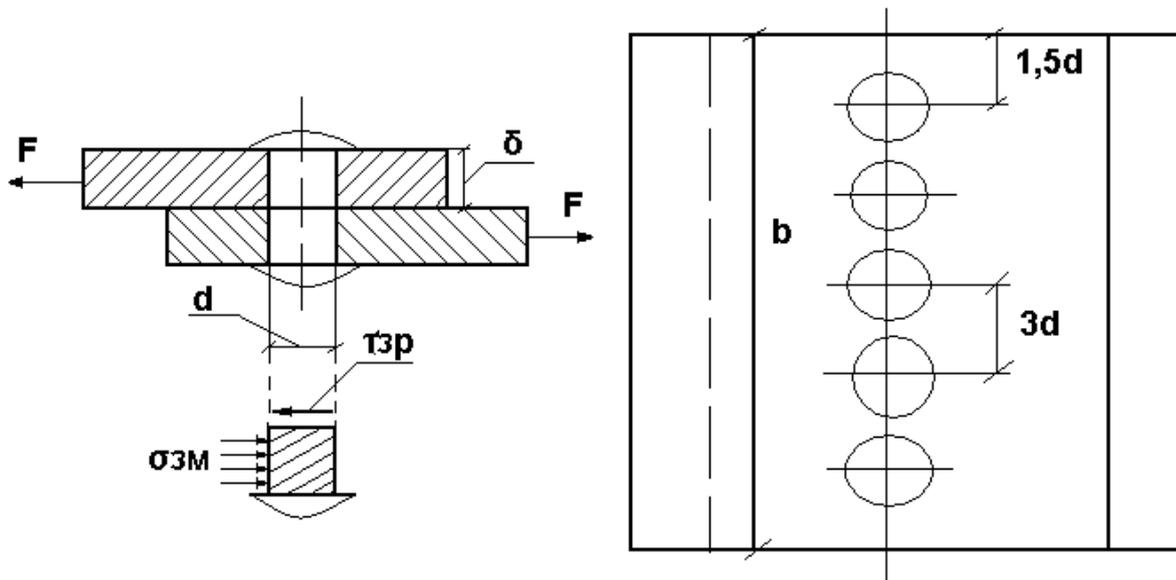


Рис. 33. Схема з'єднання аркушів за допомогою заклепок

Таким чином, у разі застосування методу перерізів до заклепки, поперечна сила Q є рівнодієюною силою внутрішніх сил. Така рівнодіюча внутрішніх сил – дорівнює зовнішній силі F .

Внутрішні сили мають такий напрям, що з'являються дотичні напруження зсуву (зрізу). Тому умова міцності під час зсуву (зрізу) характеризується такою формулою:

$$\tau_{зр} = \frac{Q}{S_{зр} \cdot n} \leq [\tau_{зр}]; \quad Q = \frac{F}{m}, \quad (30)$$

де $S_{зр}$ – площа зсуву (зрізу) у заклепки;
 n – кількість зрізів у заклепки;
 m – кількість заклепок у з'єднанні.

Величина дотичного напруження складає:

$$\tau_{зр} = \frac{4F}{\pi \cdot d^2 \cdot n \cdot m} \leq [\tau_{зр}]; \quad \tau_{зр} = \frac{4 \cdot 100 \cdot 1000}{3,14 \cdot 10^2 \cdot 5 \cdot 5} = 50,95 \text{ МПа.}$$

Отримане значення дотичного напруження порівнюють зі значенням допустимого дотичного напруження для зсуву (зрізу), яке складає 90 МПа. Із порівняння дотичних напружень видно, що п'ять заклепок надійно забезпечують міцність з'єднання двох сталевих аркушів.

Із розглянутих теоретичних положень щодо деформації зсуву (зрізу) видно, що спільно зі зсувом (зрізом) відбувається зминання бокової поверхні заклепок у місці її контакту з аркушами. Тому наступним кроком є перевірка міцності з'єднання двох аркушів на основі умови міцності під час зминання.

У місці контакту бокової поверхні заклепок з аркушами йде передача навантаження. В результаті на поверхні заклепок виникають напруження зминання, $\sigma_{зм}$, які за сутністю є напруженнями стиснення. На рис. 33 вказано напрям і розподіл напружень зминання на поверхні заклепки.

У теоретичних положеннях щодо деформації зминання зазначено, що у процесі дослідження деталей під час зминання приймають припущення. Таке припущення полягає в тому, що замість бокової циліндрової поверхні заклепки приймають плоску поверхню, яка проходить через діаметр заклепки (рис. 32в). Тому формулу для визначення умову міцності під час зминання записують у вигляді:

$$\sigma_{зм} = \frac{F_i}{S_{зм}} \leq [\sigma_{зм}] \quad (31)$$

де F_i – величина навантаження на одну заклепку;
 $S_{зм}$ – площа зминання.

Відповідно до вказаних у теоретичних положеннях припущень також приймають, що зовнішня сила рівномірно розподіляється між заклепками. Тоді сила навантаження на одну заклепку визначається за формулою:

$$F_i = \frac{F}{m}. \quad (32)$$

Виходячи з умови міцності під час зминання кількість заклепок складає:

$$m = \frac{F}{[\sigma_{3M}] \cdot S_{3M}} = \frac{F}{[\sigma_{3M}] \cdot d \cdot \delta}; \quad m = \frac{100 \cdot 1000}{250 \cdot 10 \cdot 9} = 4,44. \quad (33)$$

Приймають, що одержана кількість заклепок дорівнює п'яти. Отже, для з'єднання двох сталевих аркушів за допомогою п'яти заклепок виконується умова міцності під час зминання.

Необхідно зауважити, що у з'єднанні сталевих аркушів, яке зображено на рис. 33, аркуші піддаються деформації розтягування. На це вказує напрямок дії зовнішніх сил, які прикладені до аркушів. Тому проводять перевірку міцності аркушів у процесі розтягуванні.

Необхідно зазначити, що розтягування – це вид деформації, за якого у поперечному перерізі бруса виникає один внутрішній силовий фактор – поздовжня сила. Для заклепочного з'єднання приймають, що розтягування – це додатна деформація [9; 18]. У результаті дії поздовжньої сили в поперечному перерізі аркуша виникає нормальне напруження, $\sigma_{нр}$. Таке напруження у перерізі аркуша розподіляється рівномірно, якщо переріз віддалений від точки прикладення сили. У разі розташування перерізу близько до точки прикладення сили, напруження розподіляється нерівномірно.

Для дослідження деформації розтягування аркушів застосовують гіпотезу плоских перерізів. Така гіпотеза встановлює, що переріз аркуша є плоским і перпендикулярним до лінії дії сили. Величина нормального напруження не змінюється в межах перерізу.

На сталевих аркушах зроблено п'ять отворів під заклепки. Ці отвори послаблюють переріз аркушів у місці їх розташування.

Тому для оцінки міцності аркушів при розтягуванні має значення ширина аркушів та площа перерізу у місці розташування отворів.

На основі даних рис. 33 розраховують мінімальну ширину аркушів за формулою:

$$b = 2 \cdot 1,5 \cdot d + 4 \cdot 3 \cdot d = 2 \cdot 1,5 \cdot 10 + 4 \cdot 3 \cdot 10 = 150 \text{ мм.} \quad (34)$$

Знайдену величину ширини аркушів порівнюють з величиною, яка вказана у вихідних даних. Результати порівняння свідчать, що прийнята ширина 170 мм є достатньою, оскільки перевищує мінімальну ширину аркушів.

Площу перерізу аркушів у місці розташування отворів визначають за формулою:

$$S = (b - m \cdot d) \cdot \delta = (170 - 5 \cdot 10) \cdot 9 = 1080 \text{ мм}^2. \quad (35)$$

На основі величини площі перерізу в найбільш послабленому місці аркушів знаходять нормальне напруження під час розтягування:

$$\sigma_{\text{нр}} = \frac{N}{S} = \frac{100 \cdot 1000}{1080} = 92,59 \text{ МПа.} \quad (36)$$

Одержане нормальне напруження значно менше від допустимого нормального напруження під час розтягування, яке дорівнює 140 МПа. Це означає, що у процесі деформації розтягування забезпечується міцність аркушів.

Таким чином, з'єднання із двох сталевих аркушів відповідає умовам міцності під час деформацій зсуву (зрізу), зминання, розтягування.

10.3. Контрольні запитання для захисту роботи

1. У чому сутність деформації зсуву (зрізу)? Який внутрішній силовий фактор виникає при деформації зсуву (зрізу)?

2. За допомогою якого методу досліджують внутрішній силовий фактор при деформації зсуву (зрізу)?

3. Які напруження з'являються у перерізі бруса при деформації зсуву (зрізу)? Як впливають ці напруження на стан безконечно малих елементів бруса?
4. Охарактеризувати кут зсуву і модуль пружності при зсуві. Як визначають модуль пружності при зсуві?
5. Які припущення приймають у процесі дослідження деталей на зсув (зріз)?
6. Розкрити поняття допустиме дотичне напруження. Як визначають це напруження?
7. Охарактеризувати деформацію зминання. Коли проходить ця деформація?
8. Які припущення і вимоги у разі дослідження деталей, які підлягають деформації зминання?
9. Як визначають величину напруження при деформації зминання?
10. Розкрити поняття "допустиме напруження при зминанні". Відносно якої характеристики визначають це напруження?
11. Сформулювати порядок проведення роботи. Які характеристики визначають в даній роботі?
12. Скласти схему відповідно до варіантів. Вказати деталі і яким деформаціям вони підлягають.
13. Охарактеризувати всі умови, відповідно яким проводять перевірку міцності деталей з'єднання.

Використана література

1. Аркуша А. И. Техническая механика. Теоретическая механика. Сопротивление материалов : учебник / А. И. Аркуша. – М. : Высшая школа, 2003. – 352 с.
2. Бондаренко С. І. Матеріалознавство : лабораторний практикум / С. І. Бондаренко, І. В. Дощечкіна, С. С. Д'яченко. – Х. : ХНАДУ, 2006. – 168 с.
3. Валькова Т. А. Теоретическая механика в примерах и задачах : учебн. пособ. / Т. А. Валькова, Н. В. Еркаев, К. А. Редкоус ; под общ. ред. Т. А. Вальковой. – Красноярск : ИПЦ ПИ СФУ, 2007. – 184 с.

4. Ганевский Г. М. Допуски, посадки и технические измерения в машиностроении : учебник / Г. М. Ганевский, И. И. Гольдин. – М. : Проф-обриздат, 2002. – 288 с.

5. Григорьев А. П. Лабораторный практикум по технологии пластических масс : учебн. пособ. для вузов / А. П. Григорьев, О. Я. Федотова. – М. : Высшая школа, 1986. – 495 с.

6. Зайцев С. А. Допуски, посадки и технология измерения в машиностроении : учебник / С. А. Зайцев, А. Д. Куранов, А. Н. Толстов. – М. : Академия, 2002. – 238 с.

7. Елизаров Ю. Д. Материаловедение для экономистов : учебник / Ю. Д. Елизаров, А. Ф. Шепелев. – Ростов н/Д : Феникс, 2008. – 576 с.

8. Ивченко В. А. Техническая механика : учебн. пособ. / В. А. Ивченко. – М. : ИНФРА-М, 2003. – 156 с.

9. Ицкович Г. М. Руководство к решению задач по сопротивлению материалов : учебник / Г. М. Ицкович. – М. : Высшая школа, 2001. – 592 с.

10. Контрольні завдання та методичні вказівки до їх виконання з навчальної дисципліни "Основи технологічних систем" для студентів напряму підготовки 6.030504 "Економіка підприємства" всіх форм навчання / укл. В. М. Орехов. – Х. : Вид. ХНЕУ, 2013. – 68 с.

11. Конструкционные материалы : справочник / под ред. Б. Н. Арзамасова, В. А. Брострема, Н. А. Берне. – М. : Машиностроение, 1990. – 688 с.

12. Коровин Н. В. Лабораторные работы по химии : учебн. пособ. для вузов / Н. В. Коровин, Э. И. Мингулина, Н. В. Рыжова. – М. : Высшая школа, 1986. – 239 с.

13. Лабораторные работы и методические рекомендации к ним по курсу "Системы технологий" для студентов специальностей 7.050104, 7.050107, 7.050206 всех форм обучения / сост. В. Н. Орехов. – Х. : изд. ХГЭУ, 2001. – 92 с.

14. Лахтин Ю. М. Материаловедение : учебник / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М. : Машиностроение, 1990. – 628 с.

15. Левант Г. Е. Практикум по общей химии / Г. Е. Левант, Г. А. Райцын. – М. : Высшая школа, 1971. – 336 с.

16. Манжосов В. К. Лабораторные работы по сопротивлению материалов. Часть 1: методические указания / В. К. Манжосов. – Ульяновск : Ульяновский гос. техн. ун-т, 2006. – 28 с.

17. Материаловедение. Методы анализа, лабораторные работы и задачи : учебн. пособ. для вузов / под ред. Ю. А. Геллера, А. Г. Рахштадт. – М. : Металлургия, 1989. – 456 с.

18. Олофинская В. П. Курс лекцій с вариантами практических и тестовых заданий : учебн. пособ. / В. П. Олофинская. – 2-е изд. – М. : ФОРУМ ; ИНФРА-М, 2007. – 349 с.

19. Охрименко В. С. Химия и технология пленкообразующих веществ : учебн. пособ. для вузов / В. С. Охрименко, В. В. Верховланцев. – Л. : Химия, 1978. – 392 с.

20. Ошовський В. Я. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів : методичні вказівки до лабораторних робіт. Механичні властивості та будова металів / В. Я. Ошовський. – Миколаїв : Національний університет кораблебудування, 2008. – 32 с.

21. Платков В. Я. Робоча програма навчальної дисципліни "Основи технологічних систем" для студентів напряму підготовки 6.030504 "Економіка підприємства" / В. Я. Платков, В. М. Орехов, В. Ю. Вдовьонков. – Х. : Вид. ХНЕУ, 2012. – 96 с.

22. Рогачева Л. В. Материаловедение : учебн. пособ. / Л. В. Рогачева. – М. : Колос-Пресс, 2002. – 136 с.

23. Сорокин М. Ф. Химия и технология пленкообразующих веществ : учебник для вузов / М. Ф. Сорокин, В. А. Кочнова, Л. Г. Шодэ. – М. : Химия, 1989. – 480 с.

24. Твердость материалов : методические указания / сост. А. Н. Савкин, В. И. Водопьянов, А. А. Белов. – Волгоград : Волгоград. гос. техн. ун-т, 2004. – 16 с.

25. Характеристики прочности и пластичности материалов : методические указания к лабораторной работе / сост. : О. В. Кондратьев, В. И. Водопьянов, А. Н. Тодорев. – Волгоград : Волгоград. гос. техн. ун-т, 2008. – 23 с.

26. Храмкина М. Н. Практикум по органическому синтезу : учебн. пособ. / М. Н. Храмкина. – Л. : Химия, 1988. – 312 с.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

**Методичні рекомендації
до виконання лабораторних робіт
з навчальної дисципліни
"ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ"
для студентів напряму підготовки
6.030504 "Економіка підприємства"
всіх форм навчання**

Укладач **Орехов Валерій Миколайович**

Відповідальний за випуск **Логвінков С. М.**

Редактор **Бутенко В. О.**

Коректор **Маркова Т. А.**

План 2014 р. Поз. № 239.

Підп. до друку Формат 60×90 1/16. Папір MultiCopy. Друк Riso.

Ум.-друк. арк. 6,0. Обл.-вид. арк. 7,5. Тираж прим. Зам. №

Видавець і виготівник – видавництво ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 61166, м. Харків, пр. Леніна, 9а

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів видавничої справи

Дк № 481 від 13.06.2001 р.