

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни
«Порошкові та композиційні матеріали зі спеціальними
властивостями»

для студентів спеціальності 132 Матеріалознавство

освітня програма «Композиційні та порошкові матеріали, покриття»
денної форми навчання

2024

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Порошкові та композиційні матеріали зі спеціальними властивостями» для студентів спеціальності 132 Матеріалознавство, освітня програма «Композиційні та порошкові матеріали, покриття», денної форми навчання / Укл. І.В. Акімов, В.М. Плєскач –Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 40 с.

Укладачі: І.В. Акімов, доцент, к.т.н.,
В.М. Плєскач, доцент, к.т.н.

Рецензент: О.А. Мітяєв, професор, д.т.н.

Експерт: В.О. Савченко, доцент, к.т.н.

Відповідальний за
випуск: І.В. Акімов, доцент, к.т.н.

Рекомендовано до видання
НМК ФБАД, протокол № 1
від 30 08 2024 р.

Затверджено на засіданні
кафедри КМХТ, протокол
№ 1 від 06.08.2024 р.

ЗМІСТ

Вступ	4
Лабораторна робота №1. Визначення зносостійкості конструкційних матеріалів у різних умовах зношування.....	5
Лабораторна робота №2. Визначення малоциклової витривалості металів та сплавів.....	12
Лабораторна робота №3. Дослідження швидкості корозії металевих сплавів методом поляризаційного опору.....	21
Лабораторна робота №4. Визначення впливу пористості корозійностійких порошкових конструкційних матеріалів на їх міцність.....	27
Лабораторна робота №5. Визначення складу і міцності спеціальних композиційних матеріалів.....	33
Література	40

ВСТУП

Лабораторні роботи з дисципліни «Порошкові та композиційні матеріали зі спеціальними властивостями» призначені для закріплення знань студентами спеціальності 132 Матеріалознавство, освітня програма «Композиційні та порошкові матеріали, покриття», що отримані під час лекційного курсу. Виконання лабораторних робіт сприяє засвоєнню лекційного матеріалу і служить сполучною ланкою між теоретичною підготовкою майбутнього фахівця та його практичною діяльністю. Головна мета лабораторних робіт полягає у набутті студентами практичних навичок з вибору найраціональніших композиційних та порошкових матеріалів, а також сталей та інших сплавів зі спеціальними властивостями для деталей, які працюють у певних умовах експлуатації з метою підвищення їх надійності, довговічності та конкурентоспроможності.

Під час виконання лабораторних робіт студенти на практиці вивчають структуру та властивості різних марок композиційних та порошкових матеріалів, а також сталей та сплавів зі спеціальними властивостями та обладнання, оснастку і інструменти, які застосовуються для виготовлення таких матеріалів. Самостійно (або під керівництвом навчального майстра) проводять експерименти, реєструють результати, роблять висновки та оформляють звіт.

Лабораторна робота № 1

ВИЗНАЧЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ У РІЗНИХ УМОВАХ ЗНОШУВАННЯ

1.1 Мета роботи

Ознайомитися з основними машинами та допоміжним обладнанням для трибологічних досліджень матеріалів, а також з найпоширенішими методами випробувань на зношування. Ознайомитися з методами вимірювання величини зносу. Навчитись визначати величину зносу, користуючись лінійним та масовим методами.

1.2 Загальні відомості

Згідно ДСТУ 2823-94 зношування – процес відокремлення матеріалу від поверхні тертя твердого тіла і збільшення його залишкової деформації в умовах тертя, який проявляється у поступовій зміні розмірів чи форми тіла. Тобто, цей процес є результатом зношування деталей внаслідок процесів тертя на поверхні. Як правило, зношування оцінюється за зміною розмірів або маси деталі і обумовлене як пластичним деформуванням, так і руйнуванням поверхневих шарів. Сюди можна віднести тертя металу об гірські породи, різання й буріння ґрунтів, шліфування, дряпання, тертя шорсткого валу об м'якіший матеріал підшипника і т.п. Зношування звичайно є чисто механічним процесом, хоча часто воно супроводжується корозією й адсорбцією. Залежно від співвідношення механічної й корозійної дії можливі всілякі проміжні випадки від чисто абразивного до корозійно-механічного зношування.

Зношування характеризується втратою маси деталі, зменшенням її об'єму або лінійних розмірів. Відношення зносу до шляху тертя називають **інтенсивністю зношування**. Величина зносу віднесена до часу, протягом якого він проявляється, є швидкістю зношування.

Згідно з ДСТУ 2823-94 розрізняють наступні види зношування: механічне, механохімічне, фретинг-корозійне та електроерозійне (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Класифікація видів зношування згідно з ДСТУ 2823-94

Найзагальнішим видом зношування є механічне зношування внаслідок механічної дії. Розрізняють наступні види механічного зношування залежно від характеру механічної дії:

абразивне – результат різальної або подряпувальної дії вільних або закріплених твердих частинок. Зносостійкість при абразивному зношуванні чистих металів пропорційна їх твердості: $\varepsilon = b \cdot (НВ)$ (де ε - відносна зносостійкість, що визначається у порівнянні зі зразком-еталоном, b - коефіцієнт пропорційності; $НВ$ – твердість зношуваної поверхні за Брінеллем). У сплавах ця залежність може не витримуватися;

втомне – результат багаторазового деформування ділянок поверхні контакту твердих тіл;

ерозійне – під дією потоків рідини або газу, що рухаються з великими швидкостями;

кавітаційне – результат багаточисельних мікрогідрравлічних ударів, які сприймаються поверхнею твердого тіла, коли поблизу неї захоплюються пухирці пари рідини.

Швидкість зношування і знос залежать від часу. Існують три періоди зношування (рис. 1.2): I – початковий період, або період припрацювання, при якому зношування проходить з повільно-зменшуваною швидкістю; II – період сталого (нормального)

зношування, для якого характерна невелика і постійна швидкість зношування; III – період катастрофічного зношування.

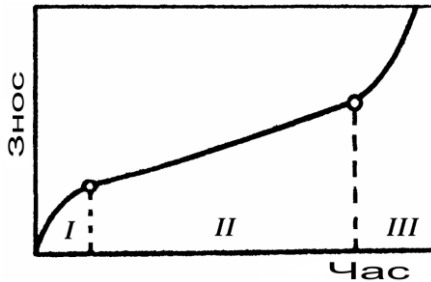
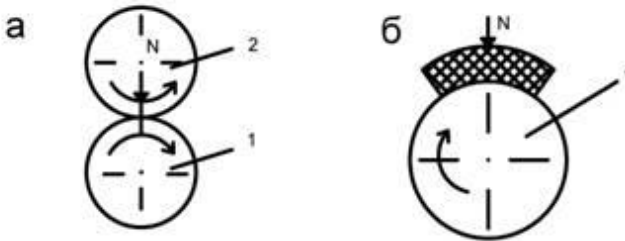


Рисунок 1.2 – Зміна зносу в часі (схема).

1.3 Обладнання для визначення зношування

МИ-1 – типова машина тертя, яка дозволяє моделювати режими експлуатації зубчастих коліс, підшипників ковзання, «взаємне кочення коліс» (рис. 1.3а), фрикційних накладок, пар тертя «колесо-колодка» (рис. 1.3 б) та інших видів трибосполучень. Як рухомий зразок-еталон 1 застосовують циліндр, що обертається, а сполучені з ним зразки з матеріалу, що досліджується, мають форму або циліндра 2, що обертається, або нерухомої колодки з криволінійною поверхнею тертя, що притискається до еталона зусиллям N .



а – пара тертя «колесо-колесо»; б – пара тертя «колесо-колодка»

Рисунок 1.3 – Схеми контакту зразків машині тертя МИ-1

Оцінювання зносостійкості матеріалів при взаємодії з нежорстко закріпленими абразивними частинками здійснюється відповідно до ГОСТ 23.208-79 за допомогою обладнання, схема якого наведена на рис. 1.4 Зразки з досліджуваного й еталонного матеріалів

зношуються абразивними частинками, які подаються у зону тертя і притискаються до зразка роликком 3, що обертається. Вимірюють і порівнюють знос зразків з випробовуваного і еталонного матеріалів.

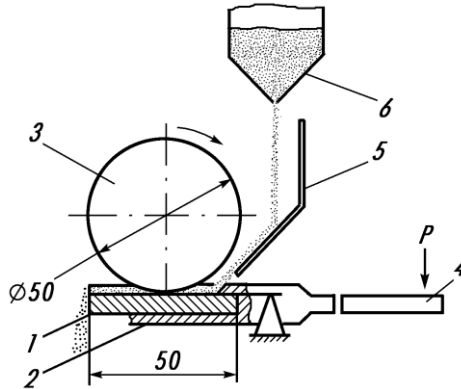


Рисунок 1.4 – Схема випробувань при терті об нежорстко закріпленій абразивний прошарок

На рис. 1.4 випробуваний зразок 1, закріплений у тримачі 2, притискається до гумового ролика 3, що обертається. Навантаження P передається через важіль 4. З дозатора 6 по напрямному лотку 5 у зону тертя подається абразив. Умови випробувань: зусилля притискання ролика 44,1 Н, частота обертання ролика 1 с^{-1} , тривалість випробування еталонного матеріалу 600 обертів ролика від моменту подачі абразиву, тривалість випробувань досліджуваного матеріалу - залежно від твердості від 600 до 3600 обертів.

Як абразивний матеріал використовують матеріал, що відповідає умовам експлуатації виробу, але з розміром частинок не більше 1 мм. При загальному порівняльному оцінюванні зносостійкості застосовують зернистий електрокорунд.

Зразки з досліджуваних і еталонного матеріалів виготовляють у вигляді пластин шириною 30, довжиною 30...50 мм, товщиною $h \geq 1$ мм і з шорсткістю робочої поверхні $Ra \leq 2,5$ мкм. Еталонні зразки виготовляють зі сталі 45 за ДСТУ 7809:2015 у відпаленому стані з твердістю 190...200 НВ. Гумовий притискний ролик виконують діаметром 50 мм.

Знос досліджуваних і еталонних зразків визначають зважуванням до і після випробувань з похибкою $\sim 0,1$ мг. Втрата маси зразка внаслідок зношування при випробуваннях повинна становити не менше 5 мг.

1.4 Методи вимірювання зносу

Методи зважування і визначення лінійних розмірів тіл тертя – є найпоширенішими методами вимірювання зносу, оскільки їх реалізація не вимагає застосування складного обладнання. Знос визначається різницею мас або лінійних розмірів досліджуваного зразка до і після випробування.

Метод зважування. Знос Δm визначається за результатами обчислення різниці мас зразка до (m_0) і після (m_k) випробування. За втратою маси зразком в процесі тертя встановлюють інтенсивність $J_{\Delta m}$ або швидкість $V_{\Delta m}$ зношування.

$$J_{\Delta m} = \frac{\Delta m}{L}; \quad (1.1)$$

$$V_{\Delta m} = \frac{\Delta m}{\tau}, \quad (1.2)$$

де L та τ – відповідно шлях тертя та час, при якому відбувався процес зношування.

Як правило, маса видаленого (зношеного) матеріалу мала у порівнянні з масою випробуваного зразка, тому для зважування використовують високоточні аналітичні ваги. Метод широко розповсюджений, простий в реалізації, однак має ряд недоліків, наприклад – низька точність вимірювання при дослідженні матеріалів у рідких середовищах; малоефективний у стендових і натурних випробуваннях (необхідне розбирання вузла тертя), не забезпечується можливість безперервної реєстрації зносу в процесі випробувань.

Метод вимірювання лінійних розмірів тіл трибопари – є найпростішим і поширеним. Зазвичай про величину зношування тіла судять по товщині зношеного шару, який визнають за зміною товщини досліджуваного зразка Δh за заданий період випробувань. Вимірювання здійснюють за допомогою мікрометрів, мікрометричних нутромірів, індикаторів, оптиметрів та інших вимірювальних інструментів. Цьому методу притаманні ті ж

недоліки, що й методу зважування, за винятком першого. Застосовується він у дослідженнях, що не вимагають високої точності вимірювання.

При такому методі для визначення інтенсивності зношування також можна застосовувати два параметри: інтенсивність $J_{\Delta h}$ та швидкість $V_{\Delta h}$ зношування, які будуть визначатися за формулами:

$$J_{\Delta h} = \frac{\Delta h}{L}; \quad (1.3)$$

$$V_{\Delta h} = \frac{\Delta h}{\tau}, \quad (1.4)$$

де L та τ – відповідно, шлях тертя та час при якому відбувається процес зношування.

Розрізняють допустимий і граничний знос. При допустимому зносі зберігається працездатність деталі. Граничний знос характеризується такими змінами форми й розмірів, при яких подальша експлуатація деталі стає неможливою.

1.5 Контрольні питання

1. Дайте визначення процесу зношування.
2. Наведіть приклади зношування поверхонь деталей при їх експлуатації.
3. Що таке інтенсивність зношування?
4. Що таке швидкість зношування?
5. Які види зношування ви знаєте.
6. Які методи визначення зношування ви знаєте?
7. Охарактеризуйте метод визначення зношування зважуванням.
8. Охарактеризуйте метод визначення зношування вимірюванням лінійних розмірів зношеного тіла.

1.6 Матеріали і устаткування

1. Лабораторна установка МИ-1.
2. Лабораторний прилад, згідно ГОСТ 23.208-79.
3. Ваги аналітичні ВЛА – 2000.
4. Штангенциркуль.
5. Кварцовий пісок зернистістю до 1,0 мм (~10 кг).

6. Набір зразків для визначення зношування з алюмінієвого і мідного сплавів, вуглецевої сталі та твердого сплаву Т15К6.

1.7 Вказівки з техніки безпеки

Роботу виконують з дозволу викладача у відповідності з інструкціями з техніки безпеки.

1.8 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Ознайомитись зі схемою випробування на зношування за допомогою машини МИ-1.

2. Вивчити будову приладу, регулювання та порядок виконання вимірювань.

3. Провести вимірювання величини зносу запропонованих викладачем матеріалів.

4. Ознайомитись зі схемою вимірювання величини зношування на лабораторному приладі згідно ГОСТ 23.208-79.

5. Провести вимірювання величини зносу запропонованих викладачем матеріалів.

1.9 Зміст звіту

Мета роботи, загальні відомості.

За отриманими результатами заповнити таблицю відносної зносостійкості різних матеріалів, що визначені ваговим методом (зношування на приладі за ГОСТ 23.208-79) та методом вимірювання лінійних розмірів (зношування на машині МИ-1). Пояснити їх характер та оцінити вплив хімічного складу на зносостійкість досліджуваних зразків.

Сформулювати та записати висновки.

Лабораторна робота № 2

ВИЗНАЧЕННЯ МАЛОЦИКЛОВОЇ ВИТРИВАЛОСТІ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ

2.1 Мета роботи

Отримати основні поняття про втому металів та сплавів, про методи випробувань на втому; набути практичні навички визначення границі витривалості металів та сплавів в умовах малоциклової втоми при жорсткому навантажуванні; визначити за допомогою випробувальної машини ИП-2 циклічну довговічність сталевих зразків в умовах малоциклової втоми при різних ступенях деформування.

2.2 Загальні відомості

Більшість деталей сучасних машин (пружини автоматики; вали, що передають крутний момент та зазнають згинальні напруження; деталі кулачкових механізмів тощо) піддаються повторно-змінним, циклічним навантаженням. У результаті цього деталі можуть виходити з ладу за певний проміжок часу експлуатації через раптове руйнування, навіть якщо прикладені до них навантаження не викликають напружень більше границі пружності σ_y . Це пов'язано з поступовим накопиченням пошкоджень в металі, які призводять до утворення тріщин і, як наслідок, - до руйнування при циклічному навантаженні. Таке явище має назву **втоми металів**.

На цей час механізми втомного зруйнування добре вивчені. Встановлено, що структура металів має дефекти у вигляді мікропор, неметалевих включень й таке інше. Вони є концентраторами напружень. Це означає, що при загальному навантаженні на деталь (або на зразок металу) ступінь локальних напружень біля дефектів перевищує границю плинності матеріалу σ_T , що у свою чергу викликає спочатку зародження, а потім і зростання *мікротріщин*. З'явившись біля дефектів, мікротріщини збігаються й утворюють *макротріщину*, внаслідок чого робочий переріз деталі (або зразка) зменшується, а потім відбувається його раптове руйнування.

У зв'язку з цим критеріями якості металу, що застосовується для виготовлення деталей, які працюють в умовах циклічних

навантажень, крім показників статичної міцності (границя міцності σ_b , границя плинності σ_t) і пластичності (відносне видовження δ , відносне звуження ψ) є кількісні характеристики опору руйнуванню при циклічному навантаженні. Здатність металу опиратися втомному руйнуванню називають **витривалістю**. Одним з показників витривалості металу є **границя витривалості** σ_R – максимальне напруження, яке витримує випробувальний зразок протягом заданого числа циклів навантаження без руйнування. Задане число циклів без втомного руйнування: звичайно це 10^7 циклів для сталей і 10^8 циклів для кольчорових металів.

Як правило, границю витривалості визначають при випробуванні зразка на згин з обертанням по симетричному знакозмінному циклу напруження. На рис.2.1а наведено схему випробування зразка, що обертається. Навантаження P створює максимальні напруження у лівій частині зразка і мінімальні – в правій (вертикальне штрихування – епюра напружень σ , МПа). При цьому точки зразка, що при обертанні опиняються зверху піддаються розтягу, знизу – стиску. Таким чином, у процесі обертання напруження в кожній точці поверхні зразка змінюються від розтягу ($\sigma_{\text{розтяг}}$) до стиску ($\sigma_{\text{стиск}}$) за синусоїдальним законом (рис. 2.1б).

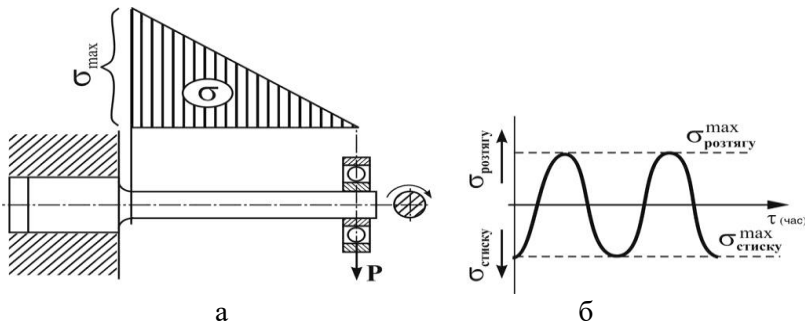
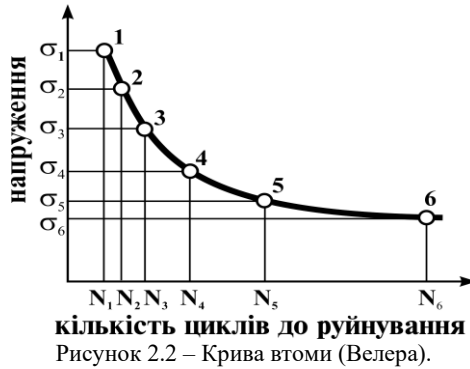


Рисунок 2.1 – Схема випробування на втому (а), синусоїдальний закон зміни типу напружень: стиск \leftrightarrow розтяг (б)

Випробування проводять на серії зразків при різних навантаженнях $P_1 \dots P_6$, і при цьому визначають напруження $\sigma_1 \dots \sigma_6$ у лівій частині зразка, і кількість циклів до руйнування $N_1 \dots N_6$ при відповідному напруженні. За отриманими даними будують криву

(рис. 2.2), за допомогою якої визначають границю витривалості, на базі заданого числа циклів навантаження.



Границя витривалості розраховується для стандартних умов, наприклад для сталі, при $N=10^7$ і позначають її σ_R , де R - коефіцієнт асиметрії циклу напруження. Він визначається відношенням мінімального напруження циклу до максимального у певному перерізі зразка $R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$. Стискальне напруження прийнято вважати від'ємною

величиною, а розтягувальне – додатною, тоді у разі симетричного циклу $\sigma_{\max} = [-\sigma_{\min}]$, а отже $R = -1$, і границя витривалості позначається як σ_{-1} . При схемі випробування, наведеному на рис.2.1, напруження руйнування σ_6 при заданому числі циклів N_6 (рис. 2.2) становить границю витривалості σ_{-1} при $R = -1$.

Втомна тріщина зазвичай зароджується на поверхні зразка, тобто у місці максимальних напружень. На втомному зламі (рис. 2.3) спостерігаються дві зони: перша, яка має гладку поверхню, виникла в результаті зародження і повільного зростання втомної тріщини; і друга – зона доламу, зона швидкого (раптового) руйнування.

Випробування для визначення границі витривалості проводять при напруженнях, які не перевищують границю пружності матеріалу σ_y і не викликають у ньому пластичного деформування. У той же час існує ряд деталей, які працюють в умовах циклічних навантажень при напруженнях в металі, що перевищують σ_y .

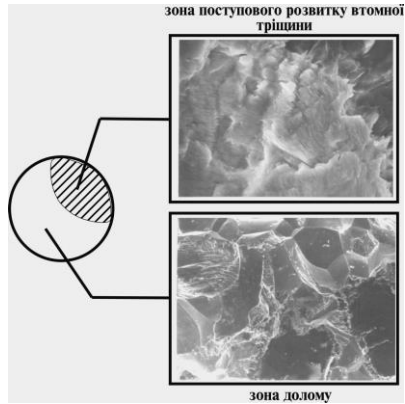


Рисунок 2.3 – Втомний злам циліндричного зразка з фрактограмами зони поступового розвитку втомної тріщини та зони долому ($\times 5000$).

Такі умови роботи спостерігаються, наприклад, в момент приземлення літака, у корпусах суден при великому хвилюванні, при раптовому зіткненні автомобіля з перешкодою і т.п. Явище руйнування під дією циклічних напружень, що викликають пластичне деформування матеріалу, отримало назву *малоциклової втоми*. Опір матеріалу руйнуванню в умовах малоциклової втоми називають *малоцикловою витривалістю*. Її критерієм є *циклічна довговічність* N – кількість циклів напруження чи деформування, які витримує зразок до появи макротріщини або руйнування. На практиці існує умовна межа – $5 \cdot 10^4$ циклів, яка відокремлює малоциклову втому від багатоциклової.

З метою визначення малоциклової витривалості металів і сплавів дотримуються умов:

- наявність рівня високих напружень або деформацій при випробуванні, що зумовлює довговічність матеріалу не більше 10^5 циклів;
- низька частота прикладених циклічних навантажень (не більше 50 циклів за хвилину);
- наявність контрольованого параметру, а саме:
 - при м'якому навантаженні – умовне напруження σ , МПа, яке наводиться у зразку;
 - при жорсткому навантаженні – гранична амплітуда циклічної деформація зразка ϵ , %.

На сьогодні метод випробувань на малоциклову втому з жорстким навантаженням в умовах чистого згину одержав найбільше поширення. Він регламентований ГОСТ 25.505-85. Для цього виготовляють спеціальні плоскі зразки (рис. 2.4).



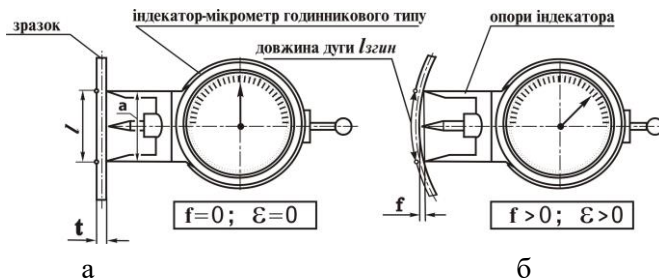
Рисунок 2.4 – Ескіз випробувального зразка для визначення малоциклової витривалості

Результати випробувань наводять у вигляді залежності амплітуди циклічної деформації ε від числа циклів N до руйнування зразка. Під амплітудою циклічної деформації ε (або ступенем граничної деформації) розуміється відносне видовження крайнього волокна плоского зразка при згині, що вимірюється у відсотках:

$$\varepsilon = \frac{l_{згин} - l}{l} 100\%, \quad (2.1)$$

де l і $l_{згин}$ – довжини крайнього волокна плоского зразка відповідно до та під час згину.

Як правило, перед встановленням зразка на випробувальну машину величина деформації ε вже відома: її призначають у залежності від умов експлуатації досліджуваного матеріалу. Прилад для вимірювань довжин наведений на рис.2.5.



а – перед деформуванням; б – під час деформування

Рисунок 2.5 – Схема вимірювання прогину зразка при випробуваннях на малоциклову витривалість

Прилад складається з індикатора-мікрометра годинникового типу та опор з фіксованою відстанню a між ними. Оскільки ця відстань є постійною, величина прогину f залежить тільки від заданого ступеня деформації ε і товщини зразка t .

У зв'язку з цим, користаючись даними таблиці 2.1, залежно від товщини зразка t (рис. 2.5) визначають необхідну величину прогину f для одержання заданого значення ε .

Таблиця 2.1. – Величини прогину зразка f залежно від ступеня деформації ε і товщини випробувального зразка t .

t, мм	Ступінь деформації ε , %									
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
	прогин зразка f , мкм									
2,0	0,30	0,60	0,88	1,15	1,42	1,67	1,92	2,15	2,38	2,60
2,1	0,29	0,56	0,83	1,10	1,35	1,60	1,83	2,06	2,28	2,49
2,2	0,27	0,54	0,80	1,05	1,29	1,52	1,75	1,97	2,18	2,38
2,3	0,26	0,51	0,76	1,00	1,24	1,46	1,68	1,89	2,09	2,29
2,4	0,25	0,49	0,73	0,96	1,19	1,40	1,61	1,82	2,01	2,20
2,5	0,24	0,47	0,70	0,92	1,14	1,35	1,55	1,75	1,94	2,12
2,6	0,23	0,46	0,68	0,89	1,10	1,30	1,49	1,68	1,87	2,04
2,7	0,22	0,44	0,65	0,86	1,06	1,25	1,44	1,62	1,80	1,97
2,8	0,21	0,42	0,63	0,83	1,02	1,21	1,39	1,57	1,74	1,90
2,9	0,21	0,41	0,61	0,80	0,99	1,17	1,34	1,52	1,68	1,84
3,0	0,20	0,39	0,59	0,77	0,95	1,13	1,30	1,47	1,63	1,79

Для проведення випробувань на втому використовується випробувальна машина моделі ИП-2 конструкції Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України. Вона призначена для випробування плоских зразків чистим згином. Кінематична схема цієї установки наведена на рис.2.6.

Крутний момент $M_{кр}$ від електродвигуна передається через змінний редуктор на кривошипно-шатунний механізм. Величина деформації (прогину f) зразка b регулюється гвинтом 1, який змінює довжину кривошипу. Задана асиметрія циклу напруження R досягається регулюванням довжини тяги 2 за допомогою гайки 3.

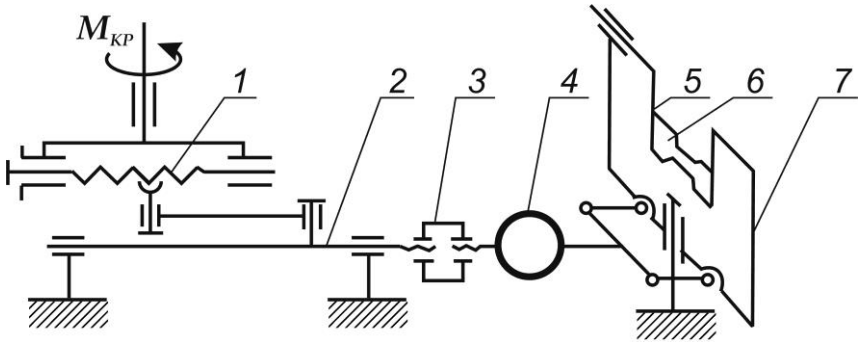


Рисунок 2.6 – Кінематична схема випробувальної установки ИП-2.

Визначення зусиль, які виникають у процесі деформування зразка, здійснюється тензорезисторами, наклеєними на кільцевий динамометр 4. Зразок 6 встановлюється у затискачі 5 і 7. Затискач 5 є рухомих і оснащений кінцевим вимикачем, що розмикає електричний ланцюг та зупиняє машину у випадку руйнування зразка. На машині встановлений лічильник циклів. Застосування змінних редукторів дозволяє змінювати частоту навантажень від 100 до 0,0001 циклу за хвилину.

2.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

При підготовці до виконання лабораторної роботи необхідно повторити теоретичний матеріал щодо сутності фізико-механічних основ процесів втомного зруйнування, які відбуваються при циклічному навантаженні матеріалів та визначення основних показників втоми.

2.4 Контрольні питання

1. Який процес називається втомою металів? За яких умов він відбувається?
2. Якими кількісними характеристиками визначається опір металів втомному зруйнуванню?
3. Як визначається границя витривалості?
4. Що таке коефіцієнт асиметрії циклу напруження?
5. Чим малоциклова втома відрізняється від багатоциклової?
6. Яких умов необхідно дотримуватися при визначенні малоциклової витривалості?

7. Чим м'який режим навантаження відрізняється від жорсткого при визначенні малоциклової витривалості?

8. Чим зумовлюється вибір величини ступеня деформації ϵ при визначенні малоциклової витривалості?

2.5 Матеріали і устаткування

1. Випробувальна машина ИП-2 для визначення маловтомної витривалості плоских зразків за схемою чистого згину.

2. Прилад з індикатором-мікрометром для визначення прогину зразка при згині.

3. Штангенциркуль.

4. Зразки сталеві для випробувань на втому.

2.6 Вказівки з техніки безпеки

Роботу виконують з дозволу викладача у відповідності з інструкцією із техніки безпеки.

2.7 Порядок виконання лабораторної роботи

Вивчити будову і принцип роботи випробувальної машини моделі ИП-2; ознайомитися з правилами техніки безпеки при роботі на ній; освоїти технологію проведення випробувань на даній машині.

За допомогою штангенциркуля зробити вимірювання товщини t трьох сталевих зразків з точністю до десятої частки міліметра і за табл. 2.1 визначити величину прогину зразка f для випробувань при ступенях деформації ϵ : 1,0%; 3,0% і 5,0%.

Установити зразок на випробувальну машину ИП-2. Виставити визначену за табл. 2.1 глибину прогину зразка f за допомогою індикатора-мікрометра (див. рис. 2.5).

Перед початком випробувань увімкнути та виставити на нуль електронний лічильник циклів.

Увімкнути випробувальну установку.

У разі втомного зруйнування зразка випробувальна установка автоматично зупиниться.

За допомогою лічильника зафіксувати кількість циклів N , які витримав зразок до руйнування.

Провести випробування трьох зразків з різними ступенями деформації.

2.8 Порядок оформлення звіту

Заповнити протокол випробувань (табл. 2.2), в якому вказати виміряні товщини t зразків, що випробувалися, визначений за допомогою табл. 2.1 та виставлений на установці перед випробуванням прогин кожного зразка f та відповідно до кожного ступінь деформації ϵ і зафіксовану кількість циклів N при випробуванні.

За отриманими даними побудувати криву – залежність циклічної довговічності N від ступеня деформації ϵ для зразків заданої марки сталі.

У висновку необхідно проаналізувати вплив ступеня деформації ϵ на циклічну довговічність N сталевих зразків в умовах малоциклової втоми.

Таблиця 2.2 – Протокол випробувань малоциклової витривалості сталі.

№ зразка	Ступінь деформації ϵ , %	Товщина зразка t , мм	Прогин зразка f , мм	Циклічна довговічність N , циклів
1	1,0			
2	3,0			
3	5,0			

Лабораторна робота № 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОСТІ КОРОЗІЇ МЕТАЛЕВИХ СПЛАВІВ МЕТОДОМ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОГО ОПОРУ

3.1 Мета роботи

Ознайомити студентів з теоретичними основами визначення швидкості корозії методом поляризаційного опору за допомогою вимірювача швидкості корозії P5035; розрахувати швидкість корозії у кислих середовищах зразків, виготовлених з компактної (ливої) сталі У7 та порошкової сталі марки ПК70 й порівняти отримані результати.

3.2 Загальні відомості

Довкілля досить часто є одним з найсильніших факторів впливу на міцність металів і зварних конструкцій. Дія середовища виявляється у вигляді корозії. Корозія – це руйнування металів внаслідок хімічної чи електрохімічної взаємодії їх з довкіллям. Корозія може бути загальною або місцевою (локальною): міжкристалітною чи пітинговою. Велику небезпеку створює корозія під напругою, яка призводить до утворення тріщин в металі. Корозійні пошкодження призводять до зменшення небезпечного перерізу деталі, створення концентраторів напружень, а у деяких випадках - до повного руйнування конструкцій. Тому дуже важливо вміти визначити здатність металу та сплавів чинити опір корозії, корозійну стійкість металу конструкції в умовах експлуатації.

В останні роки поруч з гравіметричним способом визначення швидкості корозії все ширше застосування знаходить метод *поляризаційного опору*, що дозволяє визначити швидкість корозії металу в будь-який заданий момент часу, у найкоротші строки безпосередньо в умовах експлуатації конструкції. Процес електрохімічної корозії супроводжується протіканням електричного струму від анодних ділянок до катодних у металі та від катодних ділянок до анодних в електроліті. У початковий момент часу різниця потенціалів катодних і анодних ділянок найбільша. Після замикання корозійного гальванічного елемента спостерігається зменшення

різниці потенціалів, корозійного струму і швидкості корозії металу. Це явище отримало назву *поляризації*.

Сталий корозійний процес характеризується певним стаціонарним потенціалом та струмом корозії. Зміна сили електричного струму у системі «кородуючий зразок - агресивне середовище» призводить до зміни потенціалу зразка. При цьому, якщо кородуючий зразок підключити до негативного полюса зовнішнього джерела струму, то швидкість корозії його зменшиться, а при підключенні до позитивного полюсу - швидкість корозії збільшиться. Чим більша швидкість корозії, тим більшої сили електричний струм треба пропустити, щоб змістити потенціал на невелику величину ΔE . І навпаки, при слабкій корозії достатньо пропустити невеликий електричний струм ΔI , щоб отримати значну зміну потенціалу ΔE .

Поляризованість кородуючого металу зручно оцінювати за так званим поляризаційним опором, відношенням R_p :

$$R_p = \frac{\Delta E}{\Delta I} \quad (3.1)$$

Для точного вимірювання R_p необхідно, щоб залежність $\Delta E = f(\Delta I)$ поблизу стаціонарного потенціалу кородуючого металу була лінійною.

На практиці у більшості випадків лінійна залежність зберігається за умови, що поляризувальна напруга знаходиться у межах ± 10 мВ.

Для кородуючих зразків поляризаційний опір R_p буде цілком визначеною величиною, що залежить від швидкості корозії: чим менша швидкість корозії, тим більший поляризаційний опір R_p , і навпаки.

Швидкість корозії визначається з виразу:

$$I_k = \frac{K}{R_p} \quad (3.2)$$

До константи K у формулі (3.2) входять відомі електрохімічні властивості досліджуваного металу: густина, валентність переходу до іонного стану, а також площа поверхні кородуючих зразків і

електрохімічні параметри корозійного процесу. Цей показник можна визнати сталими і визначеними для певних металів у більшості агресивних середовищ.

Швидкість корозії може бути виражена в одиницях: струмових - A/cm^2 ; вагових - $г/м^2 \cdot год.$ і лінійних - $мм/рік.$ При цьому використовують струмовий K_c , ваговий K_v і лінійний K_l коефіцієнти.

Тому у кожному конкретному випадку достатньо визначити значення поляризаційного опору, щоб при відомому K (для заліза $K_c = 2 \cdot 10^{-2}$ у кислих середовищах) розрахувати швидкість корозії металу.

Для вимірювання поляризаційного опору використовують спеціальні датчики і вимірювач швидкості корозії P5035. При цьому поляризаційний опір вимірюється за схемою, яка відображена на рис. 3.1.

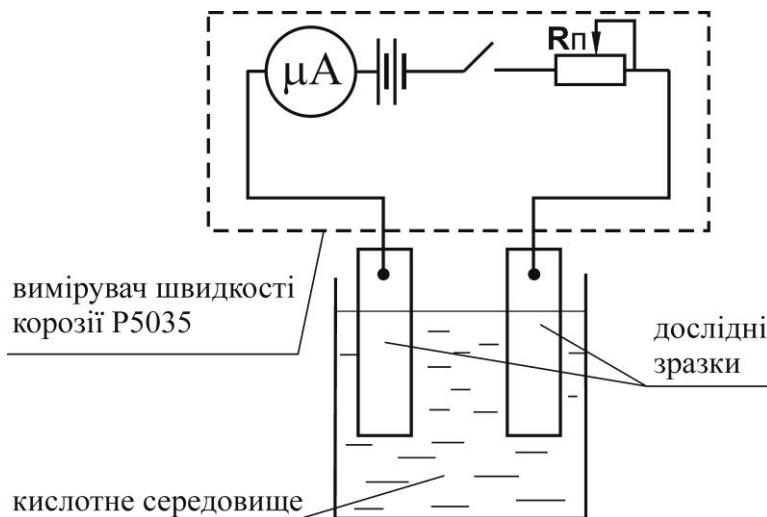


Рисунок 3.1 – Принципова схема вимірювання швидкості корозії за допомогою вимірювача швидкості корозії P5035.

3.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, що стосується корозії металів та її видів, методів оцінювання корозійної стійкості, методів захисту від корозії, корозійностійких сталей та інших сплавів.

3.4 Контрольні питання

1. Дайте визначення поляризаційного опору.
2. Опишіть будову та принцип дії вимірювача швидкості корозії P5035.
3. Яка методика вимірювання поляризаційного опору?
4. Як розраховується швидкість корозії?
5. Наведіть особливості електрохімічної корозії компактних та порошкових сталей.

3.5 Матеріали і устаткування

1. Зразки, виготовлені з компактної сталі У7 та порошкової сталі марки ПК70.
2. Вимірювач швидкості корозії P5035.
3. Елемент 373 у кількості 6 шт.
4. Корозійний датчик з електродами для зразків.
5. Однонормальний розчин соляної або сірчаної кислоти (за вказівкою викладача).

3.6 Вказівки з техніки безпеки

Роботу виконують з дозволу викладача у відповідності з інструкцією з техніки безпеки.

3.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Підготувати до роботи корозійний датчик. Залити в колбу слабкий розчин соляної кислоти, встановити кришку з електродами. Електроди корозійного датчика повинні розташовуватися на відстані 5 мм один від іншого і повернені робочими поверхнями один до одного. Площа робочої поверхні кожного електрода повинна дорівнювати 2 см². Робочі поверхні повинні бути відполіровані та нежирені, а неробочі поверхні електродів – покриті кислотостійким лаком.

2. За допомогою кабелю підключити корозійний датчик до вимірювача P5035. З'єднати провід кабелю, позначений «Ψ» із загальним заземленням робочого місця.

3. Встановити ручки потенціометрів «компенсація Ен», «Грубо» - «Точно» у середнє положення. Кнопка Ен повинна знаходитись у відпущеному стані.

4. Ввімкнути вимірювач натисканням кнопки «Вкл.».
5. Ввімкнути перший піддіапазон натисканням кнопки «0,1».
6. Зробити компенсацію розчину R_p , для чого:
 - натиснути кнопку «Вкл.» вимірювача;
 - обертанням ручки « R_p », добитися нульового показання нуль-індикатора. Відхилення стрілки нуль-індикатора має співпадати з напрямом обертання ручки « R_p ».

7. Зробити компенсацію початкової ЕДС корозійного датчика, для чого:

- натиснути кнопки «+» або «-» (поляризація об'єкту позитивним або негативним напруженням постійного струму);
- натиснути кнопку «Компенсація Ен». За допомогою ручок «Грубо» - «Точно» добитися нульового показання нуль-індикатора.

8. Зробити вимірювання опору поляризації R_p для чого:

- повернути кнопку «Компенсація Ен» до початкового стану повторним натисканням;
- обертаючи ручку R_p , добитися нульового показу нуль-індикатора;
- зняти показ опору поляризації за допомогою пристрою відліку « R_p^0 » з урахуванням множників діапазонів «0,1», «1», «10».

Оцифровані поділки від 1 до 5 на малому лімбі пристрою відліку відповідають сотням одиниць, а поділки від 0 до 9 на великому лімбі і поділки між ними відповідають десяткам і одиницям вимірюваної величини.

9. Якщо не вдається добитися нульового показу нуль-індикатора обертанням ручок « R_p » та « R_p », необхідно перейти до наступного піддіапазону шляхом натискання кнопок «1» або «10» та повторити вимірювання.

10. Повторювати визначення поляризаційного опору через кожні 5 хв. протягом 20 хв. За результатами вимірювань побудувати графік у координатах: поляризаційний опір R_p - час (від 0 до 20 хв. з кроком у 5 хв.). Для розрахунків швидкості корозії взяти середнє значення R_p .

11. По закінченню роботи необхідно вимкнути вимірювач повторним натисканням на кнопку «Вкл.», відімкнути кабель від корозійного датчика.

12. Розрахунок швидкості корозії металу зразків проводять за

формулою (3.2), де R_p – середнє значення поляризаційного опору у залежності від кількості вимірювань (Om), помножене на площу контакту дослідних зразків (2 cm^2).

3.8 Порядок оформлення звіту

Мета роботи. Коротко описати порядок проведення лабораторної роботи та навести принципову схему визначення швидкості корозії за допомогою вимірювача швидкості корозії P5035. Навести результати вимірювань у вигляді графіка. Навести розрахунки швидкості корозії компактної та порошкової сталі. Провести аналіз отриманих результатів та зробити висновок.

Лабораторна робота № 4

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ПОРИСТОСТІ КОРОЗИЙНОСТІКИХ ПОРОШКОВИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ЇХ МІЦНІСТЬ.

4.1 Мета роботи

Навчити студентів визначати вплив пористості виробів з корозійностійких порошкових конструкційних матеріалів на їх механічні властивості.

4.2 Загальні відомості

Порошкові конструкційні матеріали на основі заліза - це наймасовіший вид продукції порошкової металургії. З них виготовляють різноманітні деталі високої міцності, твердості та зносостійкості.

Їх хімічний склад, призначення та певні механічні властивості регламентується міждержавним стандартом ГОСТ 28378-89. У ньому розглядаються такі порошкові матеріали, як звичайні порошкові сталі, так і леговані сталі, такі як мідисті, нікель-молібденові, хромонікель-манганові та інші.

Умовне маркування цих матеріалів складається з букв і цифр. Букви ПК показують, що це порошковий конструкційний матеріал. Двозначна цифра після них – вміст вуглецю у сотих частках відсотка. Якщо матеріал легований, далі йдуть букви і цифри, які показують вид і вміст легувального елемента за загально прийнятою системою. Через дефіс вказується мінімальна густина пресовки з даного матеріалу.

Наприклад, порошкова конструкційна сталь із середнім вмістом вуглецю 0,4%, нікелю 2%, міді 2% і мінімальною густиною $6,4 \text{ г/см}^3$ має таке маркування:

ПК40Н2Д2-64 ГОСТ 28378-89.

Матеріали однакового складу можуть мати різну задану мінімальну густина. Вона залежить від технологічних умов: питомого тиску та умов спікання.

Окрему групу порошкових конструкційних матеріалів становлять сталі зі *спеціальними властивостями*: корозійностійкі, здатні працювати в агресивному середовищі, жаростійкі і жароміцні тощо. Але щоб виконувати свої функції за призначенням, ці матеріали повинні мати й високі механічні властивості, зокрема міцність. А як відомо, для виробів з порошкових матеріалів основним чинником, що визначає їх міцність є *пористість*.

Пористість є неминучою при виготовленні виробів з порошкових матеріалів. Під час експлуатації виробу пори відіграють двояку роль. По-перше, пори –це закладені у виріб при виготовленні концентратори напружень. По-друге, пори зменшують площу поперечного перерізу виробу, на який припадає найбільше навантаження. Обидва ці чинники зменшують загальну міцність виробу.

При деформуванні пористого тіла одночасно відбуваються два процеси: загальне ущільнення виробу і зміцнення металу частинок. Ущільнення виробів навіть при невеликих навантаженнях відбувається перш за все як міжчастинкове локальне *макропластичне* деформування за рахунок деформування окремих мікрооб'ємів (пор) виробу. У кожній окремій металевій частинці виробу процес зміцнення відбувається так же, як і у компактному металевому тілі.

Дослідження показують, що при розтягу пори спочатку збільшуються у поздовжньому напрямку. Поступово змінюється їх поперечний розмір, починається процес так званого «шийкоутворення», з яким виникають умови пластичної нестійкості, що у свою чергу веде до виникнення руйнівної мікротріщини. Чим більше пористість і чим ближче пори розташовані одна до одної, тим раніше може початися процес руйнування. Руйнування порошкового виробу може відбутися при тим меншій макропластичній деформації, чим більше пористість.

Сучасний підхід до оцінювання міцності пористих виробів ґрунтується на залежності її від пористості відповідного виробу. У зв'язку з цим сьогодні порошкові вироби за допустимою навантаженістю поділяються на такі чотири групи (таблиця 4.1).

Щоб оцінити можливість використання щойно виготовленого порошкового виробу у тій чи іншій групі за навантаженістю, треба визначити його пористість.

Таблиця 4.1. – Характеристика навантаженості порошкових виробів залежно від пористості.

Група щільності	Характеристика навантаженості	Пористість матеріалу, %	Відносні властивості пористих матеріалів (% від властивостей компактних)	
			Границя міцності	Пластичність і ударна в'язкість
1	Малонавантажені	25...16	30...45	15...30
2	Помірнонавантажені	15...10	46...65	31...45
3	Середньонавантажені	9...2	66...90	46...85
4	Важконавантажені	< 2	91...100	86...100

ГОСТ 18898-89 наводить методику визначення пористості порошкових виробів. Вона ґрунтується на тому, для порошкового виробу за масою m , г, і об'ємом V см³, визначають його фактичну густину ρ , г/см³.

Одночасно за його хімічним складом, знаючи вміст кожного компонента a_i (% за масою) і густину цього компонента ρ_i , г/см³, знаходять теоретичну густину компактного (безпористого) виробу ρ_k , г/см³, з тієї ж суміші порошоків. Співвідношення цих показників дозволяє визначити пористість (у відсотках).

4.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, який стосується порошкових конструкційних матеріалів, їх складу, особливостей використання, та впливу пористості на міцність порошкових матеріалів.

4.4 Контрольні запитання

1. Що таке порошкові конструкційні матеріали?
2. Які сталі входять у склад порошкових конструкційних матеріалів?

3. Як визначається пористість порошкових виробів?

4. Як впливає технологія виготовлення на пористість порошкових виробів?

5. Яку роль відіграють пори при деформуванні та руйнуванні порошкових виробів?

4.5 Обладнання, інструменти

1. Ваги аналітичні ВЛА – 2000.

2. Штангенциркуль.

3. Набір зразків для визначення пористості порошкових металевих матеріалів.

4.6 Вказівки з техніки безпеки

Робота виконується у присутності і з дозволу викладача (навчального майстра) у відповідності з інструкціями з техніки безпеки.

4.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Отримати від викладача з таблиці 4.2 як завдання для подальшого аналізу марку, склад, масу і об'єм зразка з порошкового конструкційного матеріалу.

Таблиця 4.2 – Порошкові корозійностійкі конструкційні матеріали (ГОСТ 28378-89).

Марка	Маса m, г	Об'єм V, см ³	Fe, %	C, %	Ni %	Mo, %	Cr, %	Ti, %
ПК10Х13М2-74	207	28	85	0,1	-	2	13	-
ПК10Х25-74	207	28	75	0,1	-	-	25	-
ПК20Х13-68	170	25	87	0,2	-	-	13	-
ПК10Х17Н2-68	170	25	81	0,1	2	-	17	-
ПК10Х18Н9Т-64	168	26	72	0,1	9	-	18	1
ПК10Х18Н15-72	200	28	67	0,1	15	-	18	-

2. Визначити фактичну густину зразка:

$$\rho = m/V \text{ (г/см}^3\text{)}. \quad (4.1)$$

3. Визначити теоретичну густину компактного (безпористого) виробу з тієї ж суміші порошків за формулою:

$$\rho_k = 100/\Sigma(a_i/\rho_i), \quad (4.2)$$

де a_i – вміст окремих компонентів порошкового матеріалу (ПК), % (за масою); ρ_i – густина відповідних компонентів, г/см³.

Показник a_i для заданого композиційного матеріалу береться з таблиці 4.2, а густина ρ_i відповідних компонентів у складі матеріалу – з таблиці 4.3. Вмістом вуглецю при розрахунку через малу величину можна знехтувати.

Таблиця 4.3. – Густина окремих хімічних елементів, що входять до складу корозійностійких порошкових конструкційних матеріалів.

Хімічні елементи у складі порошкових сталей	Fe	C	Ni	Mo	Cr	Ti
Густина ρ_i , г/см ³	7,87	2,27	8,90	10,22	7,19	4,54

4. Визначити пористість заданого зразка за формулою:

$$П = (1 - \rho/\rho_k) \cdot 100\%. \quad (4.3)$$

5. На підставі отриманого результату зробити висновок, до якої групи за навантаженістю (таблиця 4.1) відноситься зразок, що аналізувався.

4.8 Зміст звіту

1. Дати загальний характеристику порошкових конструкційних матеріалів.

2. Навести завдання: марку, склад, масу і об'єм зразка із заданого порошкового конструкційного матеріалу.

3. Навести необхідні розрахунки пористості.

4. Результати розрахунків навести у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Результати розрахунків

Марка	Маса m , г	Об'єм V , см^3	ρ , $\text{г}/\text{см}^3$	ρ_k , $\text{г}/\text{см}^3$	П , %	Призначен ня

Лабораторна робота № 5

ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ І МІЦНОСТІ СПЕЦІАЛЬНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

5.1 Мета роботи

Навчити студентів визначати склад і міцність спеціальних композиційних матеріалів.

5.2 Загальні відомості

До спеціальних композиційних матеріалів відносяться матеріали для деталей, які працюють в агресивному середовищі, у тому числі контактують з бензином, гасом, мастилами і т.п. Вони повинні мати високі хімічну стійкість і міцність, а також достатню технологічність і невисоку вартість.

Щоб забезпечити такі властивості, звичайно як матриця використовують епоксидні і фуранові смоли, фторопласт, кремнійорганічні та фенолформальдегідні смоли. Епоксидні смоли мають високу хімічну стійкість і дуже добре змочування наповнювача, що дає їй високу міцність. Фторопласт має практично абсолютну стійкість до будь-яких хімічних реагентів, надає тривалий час роботи в агресивному середовищі. Кремнійорганічні смоли надають виробу високу кислотостійкість. Фенолформальдегідні смоли – реактопласти. Після полімерізації мають високу міцність і широкий діапазон робочих температур. Найчастіше використовуються в електротехніці.

Як наповнювачі найчастіше використовують волокна і нитки від полімерних і скляних до азбестових і керамічних. Найдешевші і достатні за міцністю – скляні волокна. Дуже високу міцність дають вуглецеві волокна, але вони дуже коштовні. Азбестові і кремнеземні волокна додаються при необхідності підвищити робочу температуру виробу.

При навантаженні розтягу першою пластично деформується матриця, і навантаження поступово сприймається наповнювачем - волокнами. Роль матриці при цьому зводиться до ролі «диспетчера», який розподіляє навантаження між волокнами. Чим більше вміст наповнювача у композиційному матеріалі, тим вище його міцність, але тим слабше виявляються його пластичні властивості У

подальшому при руйнуванні волокон або ушкодженні межі розділу між ними і матрицею відбувається перерозподіл напружень таким чином, що ушкодження локалізуються у відносно малому об'ємі пластичної матриці. Таким чином створюються концентратори напружень.

Зі збільшенням навантажень у композиті відбувається накопичення розсіяних *мікропошкоджень*. У певний момент навантаження можуть призвести до руйнування деяких волокон, які мають більшу кількість дефектів. Множинні мікотріщини поступово об'єднуються у *макротріщину* при збереженні цілісності композиту. Остаточне руйнування відбувається в момент, коли розміри однієї або декількох макротріщин досягнуть критичної величини.

Міцність композиту, який складається з пластичної матриці і міцних односпрямованих *неперервних волокон*, визначається не лише міцністю самих волокон, а також їх діаметром. Вважається, що при збільшенні діаметра волокон їх міцність різко падає, а при діаметрі d понад 15 мкм асимптотично наближується до певної мінімальної величини.

Вплив волокон на міцність виробу залежить від співвідношення їх довжини l та діаметра d . Чим більше співвідношення l/d , тим міцніший матеріал. У повноцінних або зруйнованих у процесі експлуатації волокон на кінцях виникають ділянки *критичної довжини* $l_{кр}$, які не працюють на міцність виробу (рис 5.1).

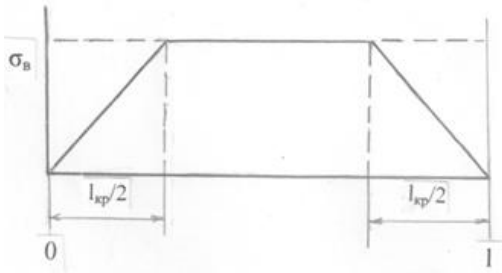


Рисунок 5.1 – Розташування неробочих частин волокна довжиною l при опорі навантаженню σ_v і критичній довжині $l_{кр}$

Критична довжина визначається за формулою:

$$l_{кр} = \sigma_v d / 2\tau_{зч}, \quad (5.1)$$

де σ_b – границя міцності волокна, МПа; d – діаметр волокна, мкм; $\tau_{зч}$ – границя міцності зсуву на межі матриця-волокно, МПа.

Чим вище $\tau_{зч}$ матриці, тим менше $l_{кр}$, швидше досягається умова $l > l_{кр}$, і тим довше триватиме поступове руйнування армувальних волокон під дією навантаження. Залежно від міцності волокон і типу матриці $l_{кр}/d$ може бути у межах 10...200, тобто при $d \approx 10$ мкм $l_{кр} = 0,15...2,0$ мм. Для сучасних композитів з полімерною матрицею $l_{кр}$ найчастіше становить 50 діаметрів волокна.

Міцність композитів, суттєво залежить від об'ємної частки армувальних волокон у перерізі виробу, оскільки від неї залежить механізм руйнування. У зв'язку з цим розрізняють поняття мінімальної і критичної концентрації волокон.

Мінімальна концентрація волокон $V_{мін}$ розраховується за рівнянням:

$$V_{мін} = (\sigma_{вм} - \sigma'_{рм}) / (\sigma_b + \sigma_{вм} - \sigma'_{рм}), \quad (5.2)$$

де σ_b – границя міцності волокон, МПа; $\sigma_{вм}$ – границя міцності матриці, МПа; $\sigma'_{рм}$ – напруження у матеріалі матриці в момент руйнування волокон.

Якщо об'ємна концентрація волокон менше мінімальної, відбувається *множинне* руйнування. Волокон замало, збільшення навантаження викликає їх руйнування на дрібніші частини. Проте композит не руйнується миттєво, оскільки навантаження бере на себе переріз матриці.

Якщо об'ємна концентрація волокон більше мінімальної, під навантаженнями, що поступово збільшуються, починають послідовно руйнуватися волокна. Навантаження переходять на недостатньо міцну матрицю, і невдовзі відбувається її миттєве руйнування по всьому поперечного перерізу композиту. Таке руйнування композиційного матеріалу називається *одиничним*.

При *критичній концентрації волокон* $V_{кр}$ міцність композиту стає рівною міцності неармованої матриці. Її величину розраховують за рівнянням:

$$V_{кр} = (\sigma_{вм} - \sigma'_{рм}) / (\sigma_b - \sigma'_{рм}). \quad (5.3)$$

Залежно від того, який характер руйнування допустимий для даного виробу в експлуатації, слід обирати оптимальну об'ємну концентрацію волокон у композиті.

На практиці об'ємний вміст волокон звичайно становить $60 \pm 10\%$ і створює вирішальний вплив як на механічні, так і на службові властивості композиційних матеріалів. Зайвий вміст волокон не сприяє підвищенню міцності.

Для оцінювання міцності композиційних матеріалів використовують структурний і феноменологічний підходи.

При *структурному* підході мова йде про аналіз міцності шарів, які входять до складу композиту, тобто він використовується для шаруватих композитів. При *феноменологічному* підході передбачається, що матеріал є умовно однорідним і має деякі усереднені властивості, які відомі для компонентів композиту. Цей підхід використовується до визначення міцності композитів, які складаються з матриці та волокон як наповнювач.

Розрахунок границі міцності двокомпонентного композиту $\sigma_{\text{км}}$, який складається з матриці й волокон, за правилом *адитивності*, або «правилом суміші», доволі простий:

$$\sigma_{\text{км}} = \sigma_{\text{в}} \cdot V_{\text{в}} + \sigma_{\text{вм}} \cdot (1 - V_{\text{в}}), \quad (5.4)$$

де $V_{\text{в}}$ – об'ємна частка волокон у композиті.

5.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, який стосується композиційних конструкційних матеріалів, їх складу та особливостей використання; а також впливу складу на міцність композиційних матеріалів.

5.4 Контрольні запитання

1. Що таке спеціальні композиційні конструкційні матеріали?
2. Які вимоги ставляться до спеціальних композиційних конструкційних матеріалів?
3. Які та за якими ознаками обираються матриці спеціальних композиційних конструкційних матеріалів?
4. Які наповнювачі використовуються у спеціальних композиційних конструкційних матеріалах?
5. Які особливості руйнування композиційних матеріалів?

6. Як ведеться розрахунок міцності композиту при феноменологічному підході?

5.5 Обладнання, інструменти

1. ДСТУ 2136-93 Волокна та нитки текстильні. Види, дефекти. Терміни та визначення. [Чинний від 01.07.93]. К.: Держстандарт України, 1993. 62 с.

2. ДСТУ 2242-93. Склопластики. Конструкційні типи, технологія, властивості. Терміни та визначення [Чинний від 1994-01-07]. К.: Держстандарт України, 1993. 64с.

3. ДСТУ 2656-94. Скловолокно та вироби з нього. Терміни та визначення. [Чинний від 1996-01-01]. К. : Держстандарт України, 1995. 20с.

4 Довідкова література

5.6 Вказівки з техніки безпеки

Робота виконується у присутності і з дозволу викладача у відповідності з інструкціями з техніки безпеки.

5.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Отримати від викладача завдання зі створення складу і визначення міцності спеціального композиційного матеріалу для експлуатації у заданому середовищі з орієнтовно очікуваної міцністю.

2. Обрати необхідні для виконання завдання матеріал матриці, вид волокон-наповнювачів, а також призначити об'ємний вміст волокон.

3. Вибрати механічні властивості обраних матриці з таблиці 5.1 і волокон з таблиці 5.2.

4. Визначити границю міцності створеного композиту за формулою (5.4).

5. Зробити висновок, чи відповідає розроблений склад композиту поставленому завданню.

5.8 Зміст звіту

1. Дати загальний характеристику спеціальних композиційних матеріалів

2. Навести зміст завдання.

3. Навести механічні властивості обраних матриці і волокон та призначений об'ємний вміст волокон.

4. Навести розрахунки границі міцності створеного композиту.

Таблиця 5.1 – Властивості матриць

Матеріал матриці	Густина кг/м ³	Міцність при розтягу, МПа	Твердість за Бринелем, МПа	Теплостійкість за Мартенсом, °С
Епоксидні смоли	1200...1250	14...50	110...120	80...120
Кремнійорганічні смоли	1600...1800	25...35	-	180...200
Фторопласти	1800...2220	16...35	30...40	110
Фенолформальдегідні смоли	1600...2000	222...85	200...450	-

Таблиця 5.2 – Властивості волокон

Волокно	Властивості				
	Густина кг/м ³	Діаметр волокон, мкм	Міцність при розтягу, ГПа	Відносне видовження при розтягу, %%	Модуль пружності, ГПа
Вуглецеве	1250...2200	4...25	0,3...6,9	0,3...6,7	4...850
Скляне	2500...2770	3...100	1,4...5,6	1...4	60...112
Кремнеземне	2600	0,8..40	2,8...4,2	2	70...74
Азбестове	2400...3300	-	0,7...3,5	1...2	190
Поліакрилонітрильне	1170	-	0,21...0,56	11...60	1,3...7,4
Арамідне	1440...1460	39	2,2...3,9	1...5	60...160

5. Навести висновок, чи відповідає розроблений склад композиту поставленому завданню.

ЛІТЕРАТУРА

1. Металознавство: підручник / О.М.Бялік, В.С.Черненко та ін.– К.: Політехніка, 2002. 384 с.
2. В.В. Хільчевський, С.Є. Кондратюк. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: навч. посібник. - Київ: Либідь, 2002. 382 с.
3. ДСТУ 2823 – 94. Зносостійкість виробів. Тертя, зношування та мащення. Терміни та визначення. [Чинний від 1996-01-01]– К.: Держстандарт України, 1995. 18 с.
4. Попович В., Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: підручник. - Львів: Світ, 2006.-624 с.
5. Позняк Л. А. Інструментальні сталі. Київ: Наукова думка, 1996. 483 с.
6. Степанчук А. М. Теорія і технологія пресування порошкових матеріалів: навч. посібник. Київ: Центр учбової літератури, 2017.336 с
7. Матеріалознавство тугоплавких металів та сполук: навч. посібник / П. Лобода, В. Федорчук, Г. Кисла, М. Сисоєв, Київ: Центр учбової літератури, 2019 . 320 с.
8. ГОСТ 28378-89 (діючий в Україні) Матеріали конструкційні порошкові на основі заліза. Марки. [Дата введення 1991-01-01], 2006. 15 с.
9. Солнцев Ю.П., Беліков С.Б., Волчок І.П., Шейко С.П. Спеціальні конструкційні матеріали: підручник – Запоріжжя: «ВАЛПС-ПОЛІГРАФ», 2010. 536 с.
10. Цыркин А.В., Михайлов А.Н., Петров М.Г., Головатинский В.В. Формирование структуры и свойств порошковых материалов. – Донецк: ДонНТУ, 2013. 162 с.
11. Корнілов О. Опір матеріалів: підручник. – К.: Логос, 2002. 562 с.
12. ГОСТ 18898-89 (діючий в Україні ISO 2738-87) Изделия порошковые. Методы определения плотности, содержания масла и пористости. [Дата введення 1991-01-01]. М.: Издательство стандартов, 1990. 10 с.