

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»  
за освітньо-професійною програмою (спеціалізацією)  
«Композиційні та порошкові матеріали, покриття»  
усіх форм навчання

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Порошкові та композиційні матеріали зі спеціальними властивостями» для студентів спеціальності 132 «Матеріалознавство» за освітньо-професійною програмою (спеціалізацією) «Композиційні та порошкові матеріали, покриття» усіх форм навчання/ Укл. І.В. Акімов – Запоріжжя: НУЗП, 2019. - 27 с.

Укладач:

І.В. Акімов, доцент, к.т.н.

Рецензент:

О.А. Мітяєв, професор, д.т.н.

Відповідальний за  
випуск:

І.В. Акімов, доцент, к.т.н.

Рекомендовано до видання  
НМК ФБАД, протокол №3  
від 05 лютого 2019 р.

Затверджено на засіданні ка-  
федри КМХТ, протокол № 5  
від 26 грудня 2018 р.

**ЗМІСТ**

<b>Загальні методичні відомості .....</b>	<b>4</b>
<b>Лабораторна робота №1. Визначення зносостійкості конструкційних матеріалів в умовах зношування.....</b>	<b>5</b>
<b>Лабораторна робота №2. Визначення малоциклової ви- тривалості металів та сплавів.....</b>	<b>11</b>
<b>Лабораторна робота №3. Дослідження швидкості коро- зії методом поляризаційного опору.....</b>	<b>21</b>
<b>Література .....</b>	<b>27</b>

## ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВІДОМОСТІ

Лабораторні роботи з дисципліни «Порошкові та композиційні матеріали зі спеціальними властивостями» призначені для закріплення знань студентами спеціальності 6.05040303 Композиційні та порошкові матеріали, покриття, що отримані під час лекційного курсу. Виконання лабораторних робіт сприяють засвоєнню лекційного матеріалу і служать сполучною ланкою між теоретичною підготовкою майбутнього фахівця та його практичною діяльністю. Головна мета лабораторних робіт полягає у набутті студентами практичних навичок з вибору найбільш раціональних 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. Обладнання, устаткування, інструмент, що 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 із основними машинами та допоміжним обладнанням для трибологічних досліджень матеріалів, а також найпоширенішими методами випробувань. Ознайомитися з методами вимірювання величини зношування. Навчитись визначати величину зношування, користуючись лінійним та масовим методом.

### 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 в 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 ваги деталі і обумовлене як пластичним деформуванням, так і руйнуванням поверхневих шарів. Сюди можна відноситись тертя металу об гірські породи, різання й буріння ґрунтів, шліфування, дряпання, тертя шорсткого вала об більш м'який підшипник і т.п. Зношування звичайно є чисто механічним процесом, хоча часто воно супроводжується корозією й адсорбцією. Залежно від співвідношення механічної й корозійної дії можливі всі проміжні випадки від чисто абразивного зношування до корозійно-механічного.

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.

Відповідно до ГОСТ 27574-88 розрізняють наступні види зношування: механічне, корозійно-механічне і електроерозійне.

Найбільш загальним 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 часток. Зносостійкість при абразивному зношуванні чистих металів пропорційна їх твердості:  $\varepsilon = b \cdot \text{НВ}$  ( $\varepsilon$  - порівняльна зносостійкість, визначається в порівнянні зі зразком-еталоном,  $b$  - коефіцієнт пропорційності). 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 мікрогідравлічних 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. 1.1): 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.

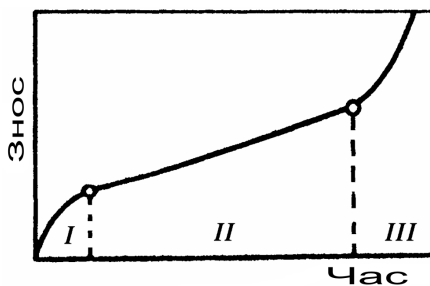


Рис. 1.1 Зміна зносу в часі (схема).

### 1.3 Обладнання для визначення зношування

МИ-1 – типова машина тертя, яка дозволяє моделювати режими експлуатації зубчастих коліс, підшипників ковзання і кочення, фрик-

ційних накладок, пар тертя «колесо-колодка» (рис. 1.2 а) та інших трибосполучень (рис. 1.2 б). В якості рухомого зразка застосовують циліндр, що обертається, а сполучений з ним нерухомий або рухливий зразок має форму циліндра або порожнього циліндра з плоскою або криволінійною поверхнею тертя.

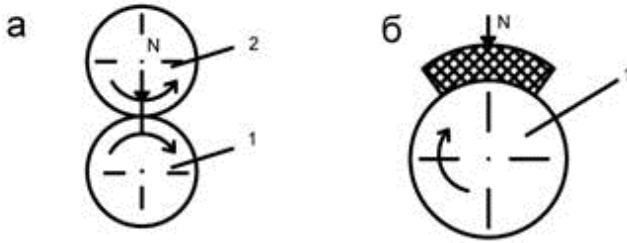


Рис. 1.2. Схеми контакту зразків машині тертя МИ-1: а – пара тертя «колесо-колесо»; б – пара тертя «колесо-колодка»

Оцінювання зносостійкості матеріалів при взаємодії з нежорстко-закріпленими абразивними частками здійснюється відповідно до ГОСТ 23.208-79 за допомогою обладнання, схема якого наведена на рис. 1.3 Зразки з досліджуваного й еталонного матеріалів зношують абразивними частками, які подаються в зону тертя і притискають до зразка обертається. Вимірюють і порівнюють знос зразків з випробовуваного і еталонного матеріалів.

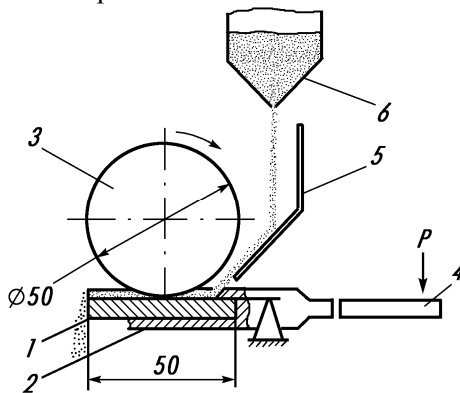


Рис. 1.3. Схема випробувань при терті об незакріплений абразивний прошарок.

На рис. 1.3 випробуваний зразок 1, закріплений у тримачі 2, притискається до гумового ролика 3 що обертається. Навантаження 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  $1 \text{ с}^{-1}$ , тривалість випробувань 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, але з розміром зерен не більше 1 мм. При загальній порівняльній оцінці зносостійкості застосовують зернистий електрокорунд.

Зразки з досліджуваних і еталонних матеріалів виготовляють у вигляді пластин шириною 30, довжиною 30-50 мм, товщиною  $h \geq 1$  мм і шорсткістю робочої поверхні  $Ra \leq 2,5$  мкм. Еталонні зразки виготовляють зі сталі 45 за ГОСТ 1050-74 у відпаленому стані з 190-200 HV. Гумовий притискний ролик виконують діаметром 50 мм.

Зношування випробовуваних і еталонних зразків визначають зважуванням до і після випробувань з погрішністю  $\sim 0,1$  мг. Втрата маси зразка внаслідок зношування при випробуваннях повинна становити  $\geq 5$  мг.

#### 1.4 Методи вимірювання зношування

Методи зважування і визначення лінійних розмірів тіл тертя – є найбільш поширеними методами вимірювання зношування, оскільки їх реалізація не вимагає застосування складного обладнання. Зношування обумовлене різницею мас або лінійних розмірів досліджуваного зразка до і після випробувань.

**Метод зважування.** Зношування  $\Delta m$  визначається за результатами обчислення різниці мас зразка до ( $m_0$ ) і після ( $m_k$ ) трибовипробувань. По втраті маси зразком в процесі тертя встановлюють інтенсивність  $J_{\Delta m}$  або швидкість  $V_{\Delta m}$  зношування.

$$J_{\Delta m} = \frac{\Delta m}{L}; \quad V_{\Delta m} = \frac{\Delta m}{\tau}, \quad (1.1; 1.2)$$



де  $L$  та  $\tau$  – відповідно, шлях тертя та час при якому відбувається процес зношування.

Як правило, маса видаленого (зношеного) матеріалу мала в 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 в рідких середовищах, малоефективне в стендових і натурних випробуваннях (необхідна розбирання вузла тертя), не забезпечується можливість безперервної реєстрації зносу в процесі випробувань.

**Метод вимірювання лінійних розмірів тіла трибопари** – є найбільш простим і поширеним. Зазвичай про величину зношування тіла судять по висоті зношеного шару, який визнають за зміною товщини досліджуваного зразка за заданий період випробувань. Вимірювання здійснюють за допомогою мікрометрів, мікрометричних нутромірів, індикаторів, оптиметрів та іншого вимірювального інструменту. 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 визначення параметрів зношування також можна застосовувати два параметрами: інтенсивність  $J_{\Delta h}$  та швидкість  $V_{\Delta h}$  зношування, які будуть визначатися за формулами:

$$J_{\Delta h} = \frac{\Delta h}{L}; \quad V_{\Delta h} = \frac{\Delta h}{\tau}, \quad (1.3; 1.4)$$

де  $L$  та  $\tau$  – 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 стають неможливими.

## 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 зношувального 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 сплаву, мідного сплаву, вуглецевої сталі та твердого сплаву, що отриманий методами порошкової металургії (Т15К6).

### **1.7 Вказівки з техніки безпеки.**

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

### **1.9 Порядок виконання лабораторної роботи**

1. Ознайомитись зі схемою випробування на знос за допомогою машини МИ-1.
2. Вивчити будову приладу, регулювання та порядок виконання вимірювань.
3. Провести вимірювання величини зношування запропонованих викладачем матеріалів.
4. Ознайомитись зі схемою вимірювання величини зношування на лабораторному приладі, згідно ГОСТ 23.208-79.
5. Провести вимірювання величини зношування запропонованих викладачем матеріалів.

### 1.10 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 дослідних зразків.

Зробити 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 степенях деформації.

### 2.2 Загальні відомості

Більшість деталей сучасних машин (пружини автоматики; вали, що передають крутний момент та зазнають згинаючі напруження; деталі кулачкових механізмів та ін.) піддаються повторно-змінним, циклічним навантаженням. В 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  $\sigma_y$ . 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 ін. Вони є концентраторами напружень. Це означає, що при загальному навантаженні на деталь (або на зразок металу) степінь локальних напружень біля дефектів перевищує границю плинності матеріалу  $\sigma_T$ , 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 раптове зруйнування.

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  $\sigma_b$ , границя плинності  $\sigma_t$ ) і пластичності (відносне видовження  $\delta$ , відносне звуження  $\psi$ ) є кількісні характеристики опору руйнуванню при циклічному навантаженні. Здатність металу опиратися втомному руйнуванню називають *витривалістю*. Одним з показників витривалості металу є *границя витривалості*  $\sigma_R$  – максимальне напруження, яке витримує випробувальний зразок на протязі заданого числа циклів навантаження без руйнування, тобто не відбувається втомне зруйнування матеріалу: звичайно це  $10^7$  циклів для сталей і  $10^8$  циклів для кольорових металів. Як правило, границю витривалості визначають при випробуванні зразка на згин з обертанням по симетричному знакозмінному циклу напруження. На рис. 1а наведено схему випробування зразка, що обертається. Навантаження  $P$  створює максимальні напруження у лівій частині зразка і мінімальні – в правій (вертикальне штрихування – епюра напружень  $\sigma$ , 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). Випробування проводять на серії зразків при різному навантаженні  $P_1 \dots P_6$ , при цьому визначають напруження  $\sigma_1 \dots \sigma_6$ , і кількість циклів до руйнування  $N_1 \dots N_6$  при відповідному навантаженні. За отриманими даними будують криву (рис. 2.2), за допомогою якої визначають границю витривалості, на базі заданого числа циклів навантаження.

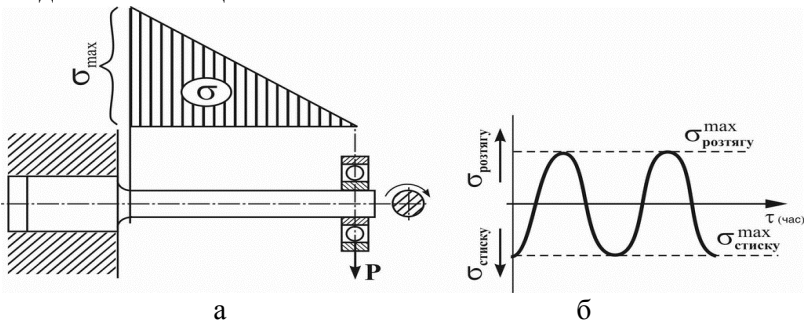


Рис. 2.1. Схема випробування на втому (а), синусоїдальний закон зміни типу напружень: стиск  $\leftrightarrow$  розтяг (б).



Рис. 2.2. Крива втоми (Велера).

Границя витривалості розраховується для стандартних умов, наприклад для сталі при  $N=10^7$  і позначають  $\sigma_R$ , де  $R$  є коефіцієнтом асиметрії циклу напруження і визначається відношенням мінімального напруження циклу до максимального у певному перерізі зразка

$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$ . Напруження, що стискає, прийнято вважати від'ємною ве-

личиною, тоді у разі симетричного циклу  $\sigma_{\max} = [-\sigma_{\min}]$ , отже  $R = -1$ , а границя витривалості позначається як  $\sigma_{-1}$ . У випадку, наведеному на рис.2, якщо  $N_6$  дорівнює заданому числу циклів напруження, то

$$\sigma_6 = \sigma_{-1} \text{ при } R = -1.$$

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

Випробування для визначення границі витривалості проводять при напруженнях, які не перевищують границю пружності матеріалу  $\sigma_y$  і не викликають в ньому пластичної деформації. У той же час існує ряд деталей, які працюють в умовах циклічних навантажень при напруженнях в металі, що перевищують  $\sigma_y$ . Такі умови роботи спостерігаються, наприклад, в момент приземлення літака, у корпусах суден при великому хвилюванні, при натраплянні автомобіля на перешкоду і т.п. Явище руйнування під дією циклічних напружень, що викликають

пластичну деформацію 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 деформацій, які витримує зразок до появи макротріщини або руйнування. На практиці існує умовна межа – 50000 циклів, яка відокремлює малоциклову втому від багатоциклової.

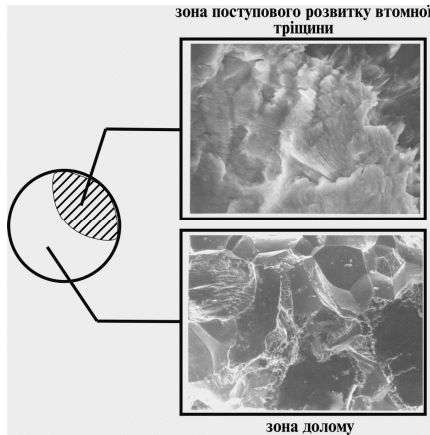


Рис. 2.3. Втомний злам циліндричного зразка з фрактограмами зони поступового розвитку втомної тріщини та зони долому ( $\times 5000$ ).

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  $\sigma$ , МПа, яке наводиться у зразку;
  - при жорсткому навантаженні – гранична деформація зразка  $\epsilon$ , %.

На цей час метод випробувань на малоциклову втому з жорстким навантаженням в умовах чистого згину одержав найбільше поши-

рення. Він регламентований ГОСТ 25.505-85. Для цього виготовляють спеціальні плоскі зразки (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Ескіз випробувального зразка для визначення малоциклової витривалості.

Результати випробувань наводять у вигляді залежності амплітуди циклічної деформації  $\varepsilon$  від числа циклів до руйнування зразка  $N$ . Під амплітудою циклічної деформації  $\varepsilon$  (або ступенем граничної деформації) розуміється відносне видовження крайнього волокна плоского зразка при згині і 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  $\varepsilon$  вже відома: її призначають у залежності від умов експлуатації досліджуваного матеріалу. У зв'язку з цим, користаючись даними табл. 1, у залежності від товщини зразка  $t$  (див. рис. 2.5) визначають необхідну величину прогину  $f$  для одержання заданого значення  $\varepsilon$ . Задану степінь деформації  $\varepsilon$  фіксують за допомогою спеціального пристрою, який 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  $\varepsilon$  і товщини зразка  $t$ .



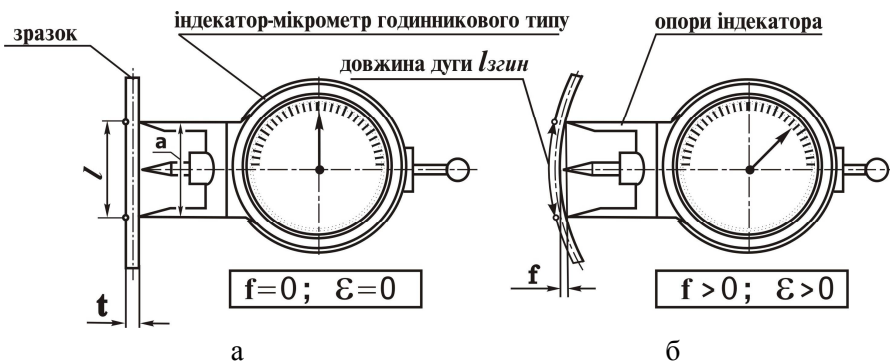


Рис. 2.5 Схема вимірювання прогину зразка при випробуваннях на малоциклову витривалість: а – перед деформуванням; б – під час деформування.

Таблиця 2.1. Величини прогину зразка  $f$  у залежності від степеня деформації  $\epsilon$  і товщини випробувального зразка  $t$ .

$t$ , мм	Ступінь деформації $\epsilon$ , %									
	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.

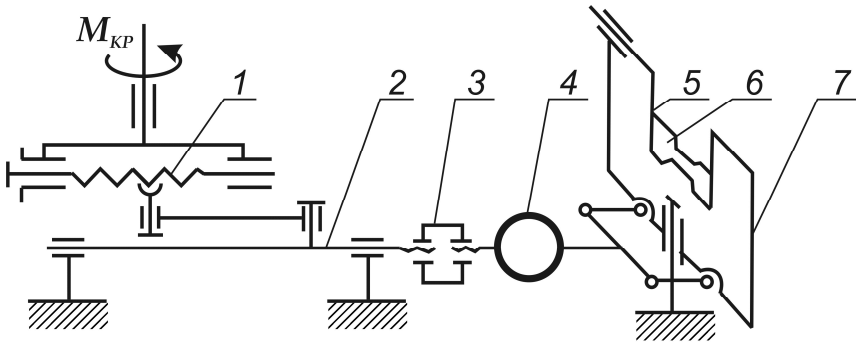


Рис.2.6 Кінематична схема випробувальної установки ИП-2.

Крутний момент від електродвигуна передається через змінний редуктор на кривошипно-шатунний механізм. Величина деформації (прогину  $f$ ) зразка 6 регулюється гвинтом 1, який змінює довжину кривошипу. Задана асиметрія циклу напруження  $R$  досягається регулюванням довжини тяги 2 за допомогою гайки 3.

Визначення зусиль, які виникають у процесі деформування зразка, здійснюється тензорезисторами, наклеєними на кільцевий динамометр 4. Зразок 6 встановлюється у захоплювачі 5 і 7. Захоплювач 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 що до 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 деформації  $\epsilon$  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 установці.

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 степенях деформації  $\epsilon$ : 1,0%; 3,0% і 5,0%.

Установити зразок на випробувальну машину ИП-2. Виставити визначену за табл. 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 степенями деформації.

## 2.8 Порядок оформлення звіту

Заповнити протокол випробувань (табл.2), в якому вказати виміряні товщини  $t$  зразків, що випробувалися, визначений за допомогою табл.1 та виставлений на установці перед випробуванням прогин кожного зразка  $f$  та відповідно до кожного степеня деформації  $\epsilon$  і зафіксовану кількість циклів  $N$  при випробуванні.

За отриманими даними побудувати криву – залежність циклічної довговічності  $N$  від степеня деформації  $\epsilon$  для зразків заданої марки сталі.

У висновку необхідно проаналізувати вплив степеня деформації  $\epsilon$  на циклічну довговічність  $N$  сталевих зразків в умовах малоциклової втоми.

Таблиця 2.2 Протокол випробувань малоциклової витривалості сталі.

№ зразка	Степінь деформації $\epsilon$ , %	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  
МЕТАЛЕВИ 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 сталі У7 та порошкової сталі марки ПК70 й порівняти отримані результати.

**3.2 Загальні відомості**

Оточуюче середовище досить часто є одним з найбільш сильних 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 середовищем. Корозія може бути загальною або місцевою (локальною): міжкристалічна, пітингова. Велику небезпеку викликає корозія під напругою, це приводить до утворення тріщин в металі. Корозійні пошкодження приводять до зменшення несучого перерізу деталі, створенню концентраторів напружень, а в 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 більш широке застосування знаходить метод поляризаційного опору, що дозволяє визначити швидкість корозії металу в будь-який заданий момент часу, в найкоротші строки, безпосередньо в умовах експлуатації конструкції. Процес електрохімічної корозії супроводжується протіканням електричного струму від анодних ділянок до катодних в металі та від катодних ділянок до анодних в електроліті. В початковий момент часу різниця потенціалів катодних і анодних ділянок найбільша. Після замикання корозійного гальванічного елемента спостерігається зменшення різниці потенціалів, коро-

зійного струму і швидкості корозії металу. Це явище отримало назву поляризації.

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

Поляризуємість кородуючого металу зручно оцінювати за відношенням, так званому поляризаційному опору:

$$R_{\text{п}} = \frac{\Delta E}{\Delta I} \quad (3.1)$$

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

На практиці в більшості випадків лінійна залежність зберігається при умові, що поляризуюча напруга не перевищує  $\pm 10$  мВ.

Для кородуючих зразків поляризаційний опір  $R_{\text{п}}$  буде цілком визначеною величиною, що залежить від швидкості корозії: чим менша швидкість корозії, тим більший поляризаційний опір  $R_{\text{п}}$ , і навпаки.

Швидкість корозії визначається з виразу:

$$I_{\text{к}} = \frac{K}{Rn} ; \quad (3.2)$$

де  $K$  - константа, до якої входять відомі електрохімічні властивості досліджуваного металу: густина, валентність переходу до іонного стану, а також площа поверхні кородуючих зразків і електрохімічні параметри корозійного процесу. Ці показники можна визнати сталими і визначеними для більшості агресивних середовищ.

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

Таким чином, в кожному конкретному випадку достатньо визначити значення поляризаційного опору, щоб при відомому  $K$  (для заліза  $K_c = 2 \cdot 10^{-2}$  в кислих середовищах) розрахувати швидкості 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.

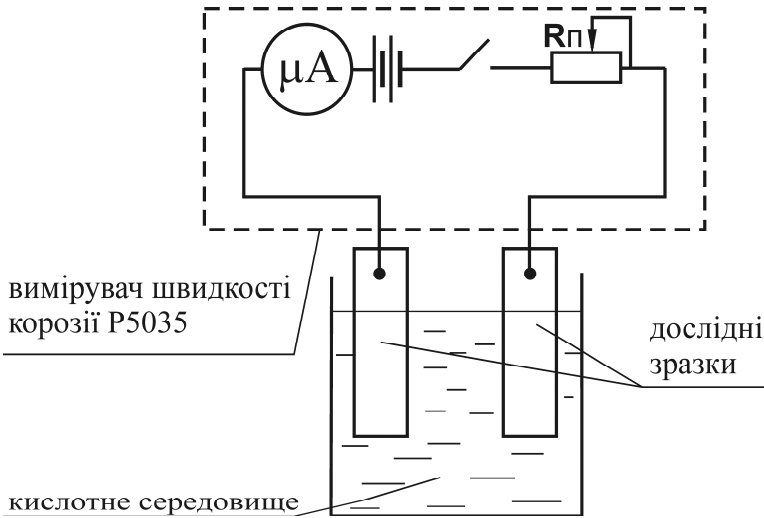


Рис.3.1 Принципова схема вимірювання швидкості корозії за допомогою приладу P5035.

### 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, корозійностійкі сталі та інші сплави.

### 3.4 Контрольні питання

1. Дати визначення поляризаційного опору.
2. Будова та принцип дії вимірювача швидкості корозії P5035.
3. Методика вимірювання поляризаційного опору.
4. Розрахунок швидкості корозії.
5. Наведіть особливості електрохімічної корозії компактних та порошкових матеріалів.

### 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 в 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 із 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 і повернені робочими поверхнями один до одного. Площа робочої поверхні кожного електрода повинна дорівнювати 2 см<sup>2</sup>. Робочі поверхні повинні бути відполіровані та обезжирені. Неробочі поверхні електродів – покриті кислотостійким лаком.

2. Підключити корозійний датчик за допомогою кабелю до вимірювача P5035. З'єднати провід кабелю, позначений «Ф» з загальним заземленням робочого місця.

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



відпущеному стані.

4. Ввімкнути вимірювач натисненням кнопки «Вкл.».
5. Ввімкнути перший піддіапазон натисненням кнопки «0,1».
6. Зробити компенсацію розчину  $R_p$ , для чого:
  - натиснути кнопку «~»;
  - обертанням ручки « $R_p$ », добитися нульового показання нуль-індикатора. Відхилення стрілки нуль-індикатора має співпадати з напрямом оберту 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 натисненням;
- обертаючи ручку  $R_p$ , добитися нульового показання нуль-індикатора;
- зняти показання 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 показання нуль-індикатора обертанням ручок « $R_p$ » та « $R_p$ », необхідно перейти до наступного піддіапазону шляхом натисненням кнопок «1» або «10» та повторити вимірювання.

10. Повторювати визначення поляризаційного опору через кожні 5 хв. на протязі 20 хв. За результатами замірювань побудувати графік в координатах: поляризаційний опорі  $R_p$ ; час (0...20 хв. з кроком 5 хв.). Для розрахунків швидкості корозії взяти середнє значення  $R_p$ .

11. По закінченню роботи необхідно виключити вимірювач повторним натисненням на кнопку «Вкл.», відключити кабель від корозійного датчика.

12. Розрахунок швидкості корозії металу зразків проводять за

формулою (3.2), де  $R_p$  – середнє значення поляризаційного опору в залежності від кількості вимірювань ( $O_m$ ) помножене на площу контакту дослідних зразків ( $2 \text{ см}^2$ ).

### **3.8 Порядок оформлення звіту**

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

## ЛІТЕРАТУРА

1. Арзамасов Б. Н., Сидорин И. И., Косолапов Г. Ф. й ін. Матеріалознавство: Підручник для вузів. 2-і изд. М.: Машинобудування, 1986. 384 с.
2. В.В. Хільчевський, С.Є. Кондратюк. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: Навч. посібник. - Київ: Либідь, 2002. – 382 с.
3. Попович В., Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Підручник. - Львів: Світ, 2006.-624 с.
4. Позняк Л. А. Інструментальні сталі. Київ: Наукова думка, 1996. 483 с.
5. Єрмаков С. С., Вязников Н. Ф. Порошкові сталі й вироби. Л.: Машинобудування, 1990. 319 с.
6. Гольдштейн М. И., Литвинов В. С., Бронфин Б. М. Металлофизика високоміцних сплавів. М.: Металургія, 1986. 312 с.
7. Ульянов Е. А. Коррозионностойкие сталі й сплави: Довідник. М.: Металургія, 1980. 208 с.
8. Єрмаков Б. С., Єрмаков С. С. Фізичне металознавство. Порошкові й композиційні матеріали. СПб.: Изд. СПбГТУ, 1996. 135 с.