

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи № 3
«Залежність зносу спряжених деталей від їх твердості» з
дисципліни «Технологічні методи підвищення терміну роботи
вузлів тертя» для студентів спеціальності G9 Прикладна механіка
всіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи № 3
«Залежність зносу спряжених деталей від їх твердості» з дисципліни
«Технологічні методи підвищення терміну роботи вузлів тертя» для
студентів спеціальності G9 Прикладна механіка всіх форм навчання /
Укл.: Ю.М. Савонов, О.Є. Капустян. – Запоріжжя: НУ «Запорізька
політехніка», 2026. - 16 с.

Укладачі: Ю.М. Савонов, канд. техн. наук, доцент
О.Є. Капустян, канд. техн. наук, доцент;
Рецензент: М.Ю. Осіпов, канд. техн. наук, доцент
Редактор: І.П. Аверченко
Відповідальний за випуск: О.Є. Капустян

Затверджено
на засіданні кафедри ІТЗтаМК
Протокол № 4 від 25.10.2025

Рекомендовано до видання
НМК ІФФ
Протокол № 3 від 13.11.2025

ЗМІСТ

1 Мета роботи.....	4
2 Загальні відомості.....	5
3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи	11
4 Матеріали, інструмент, прилади, обладнання	12
5 Вказівки з техніки безпеки	13
6 Порядок проведення лабораторної роботи	14
7 Зміст звіту.....	15
Перелік джерел посилання	16

1 МЕТА РОБОТИ

Вивчити вплив твердості спряжених деталей на зносостійкість.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Утомне зношування з'являється в результаті повторного деформування поверхневих шарів твердих тіл при зовнішньому терті. Воно найбільш характерно для нормального режиму роботи більшості рухомих спряжень. Зношування твердих тіл оцінюють, використовуючи лінійну інтенсивність зношування або втрату ваги зразка. На інтенсивність утомного зношування суттєво впливає напружений стан у зонах фактичного торкання твердих тіл. В залежності від напруженого стану в зоні дотику розрізняють утомне зношування при пружному та пластичному контактах [1].

Отже, всеохоплюючі рекомендації відносно вибору матеріалів для деталей, які труться не можливі. Тільки на основі ретельного порівняння умов служби деталей, які труться, вихідних властивостей матеріалів і тих змін, які вони зазнають на поверхнях тертя, з урахуванням інших обставин можна підібрати для кожного випадка найбільш відповідний матеріал. Тим не менш, можна сформулювати деякі керівні правила при виборі матеріалів для пар тертя ковзання:

1) поєднувати твердий матеріал з м'яким. Тут можливі два випадки:

а) деталь з м'якого матеріалу робиться легкозмінною;

б) деталь з м'якого матеріалу має температуру рекристалізації нижче середньої температури поверхні тертя. Така пара добре протистоїть заїданню та характеризується високою надійністю;

2) поєднувати твердий метал з твердим. Такі пари тертя мають високу зносостійкість внаслідок малого взаємного впровадження їх поверхонь. Застосування цих пар обмежується швидкостями ковзання;

3) уникати комбінацій м'якого матеріалу по м'якому, а також пар з однойменних матеріалів.

Машина для дослідження матеріалів на тертя 2168 УМТ (рис. 2.1) відноситься до універсальних і дозволяє випробувати різні пари тертя з різним характером руху в широкому діапазоні обертань і навантажень, з можливістю подавання в зону тертя мастильних матеріалів [2, 3].

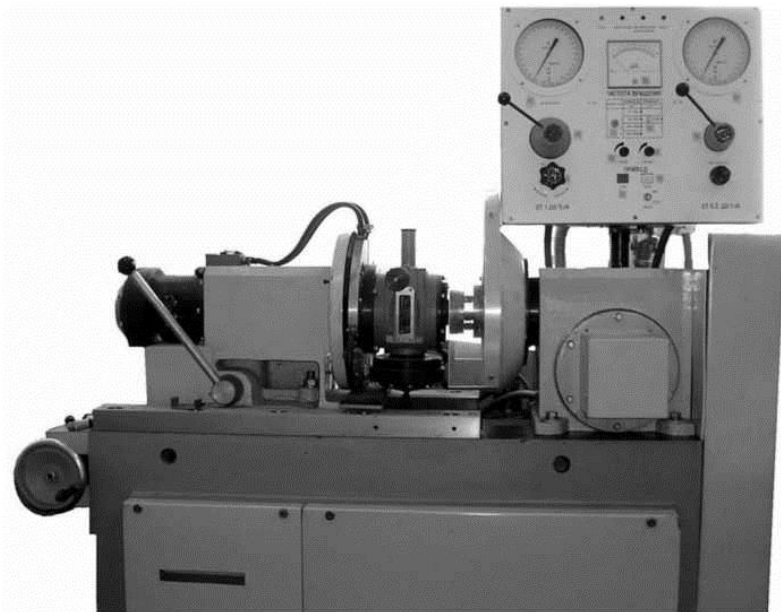


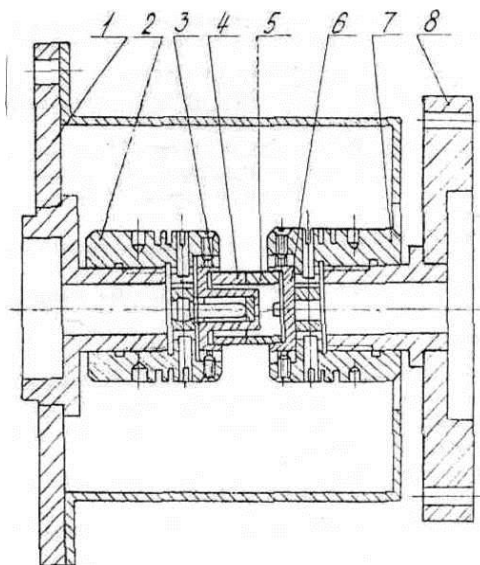
Рисунок 2.1 - Загальний вид машини 2168 УМТ для досліджень матеріалів на тертя

Машина випробувальна складається з наступних основних вузлів:

- механічний привід;
- силовимірювач;
- камера тертя;
- електродвигун;
- оперативний пульт;
- система мащення.

Конструкція установки виконана для випробувань по схемі «диск-палець».

Для проведення досліджень по другим схемам машина комплектується: камерою тертя для дослідження пар тертя при обертальному русі, яка переналаджується і для випробувань при коливальному русі; камерою тертя для зворотно-поступального русі; пристосування для досліджень по схемі «кільце-кільце» (рис. 2.2) [3].



1 - фланець; 2 - головка; 3 – кільце (рис. 2.3); 4 - нерухомий зразок; 5 - зразок, який обертається; 6 - кільце; 7 - головка; 8 - фланець.

Рисунок 2.2 - Пристосування для досліджень зразків «кільце-кільце»

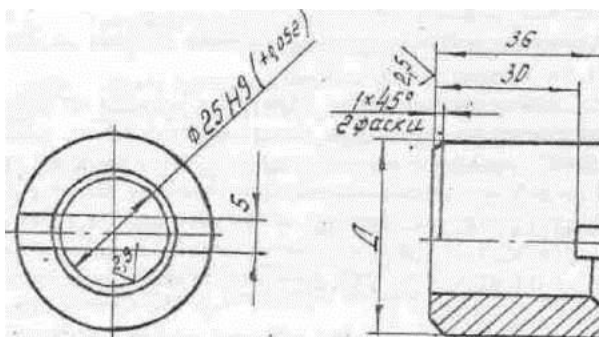
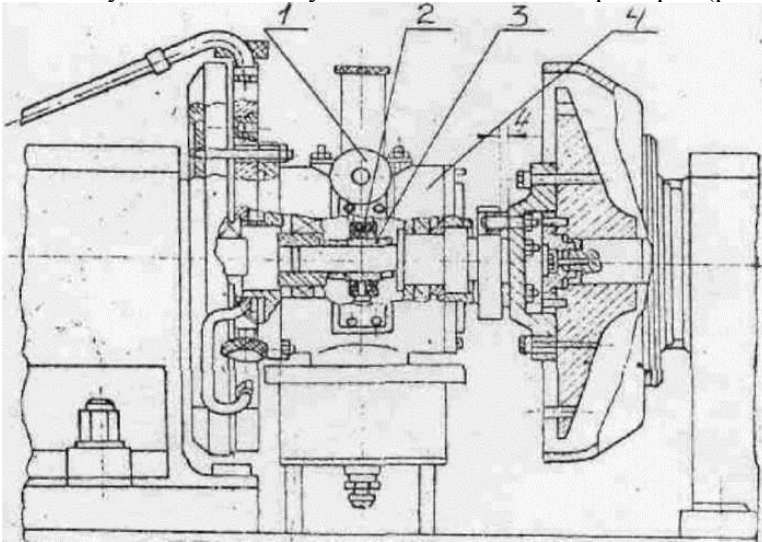


Рисунок 2.3 - Зразок «кільце» («вал») для досліджень на машині 2168 УМТ

Для дослідження пар, що труться при обертовому русі по схемі «вал-втулка» на машину встановлюється камера тертя (рис. 2.4).



1 - прижим; 2 - зразок «втулка» (рис. 2.5) ; 3 - зразок «вал» (рис. 2.3); 4 - камера тертя.

Рисунок 2.4 - Камера тертя для дослідження пар, що труться по схемі «вал-втулка»

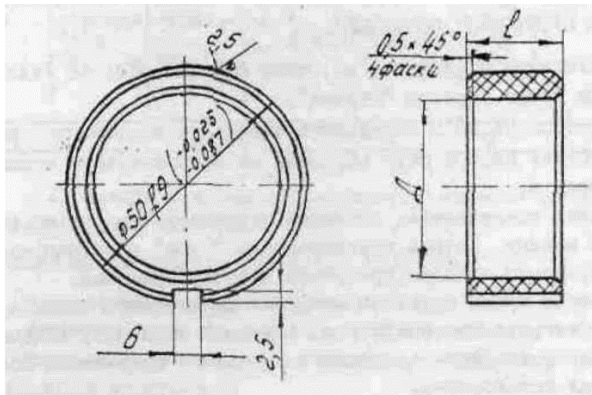


Рисунок 2.5 - Зразок «втулка»

Технічні характеристики випробувальної машини 2168 УМТ:

- 1) діапазони вимірів частоти обертання (шпиндель):
 - діапазон 1 – 15 хв^{-1} - 150 хв^{-1} ;
 - діапазон 2 – 30 хв^{-1} - 300 хв^{-1} ;
 - діапазон 3 – 150 хв^{-1} - 1500 хв^{-1} ;
 - діапазон 4 – 300 хв^{-1} - 3000 хв^{-1} ;
- 2) діапазон вимірів частоти обертання (кочення), хв^{-1} – 6 – 60;
- 3) діапазон 1 виміру сили притиску – 200 Н – 1000 Н;
- 4) діапазон 2 виміру сили притиску – 1000 Н - 5000 Н;
- 5) діапазони 1 виміру моменту тертя в діапазонах частот обертання:
 - діапазон 1 – 4 Н·м – 40 Н·м;
 - діапазон 2 – 2 Н·м – 20 Н·м;
 - діапазон 3 – 4 Н·м – 40 Н·м;
 - діапазон 4 – 2 Н·м – 20 Н·м;
- 6) число ступенів зміни частоти обертання вала – 10;
- 7) радіуси установки зразків за схемою «палець-диск» – 60 мм, 90 мм, 120 мм, 150 мм;
- 8) межі виміру кута гойдання зразка - $\pm(3-30)^\circ$;
- 9) межі виміру величини ходу поступального переміщення, – 0 – 14 мм;
- 10) споживана потужність - 16кВт;
- 11) живлення:
 - мережа змінного струму напругою 380 В, частотою 50 Гц;
 - стиснене повітря - 0,5 МПа - 0,6 МПа;
- 12) габаритні розміри машини, мм:
 - випробувальної машини - 760х1750х1900;
 - пульта управління - 650х850х1700;
 - силового пульта - 600х750х900;
- 13) маса, кг:
 - випробувальної машини - 1200;
 - пульта управління - 200;
 - силового пульта – 30.

Великий набір змінних пристосувань дозволяє швидко перебудовувати прилад на різні схеми випробувань, моделюючих роботу трибоспряжень у вузлах тертя [2-4].

Забезпечуються схеми випробувань:

- при обертанні: диск-палець ($K_{ВЗ} = 0$), кільце-кільце ($K_{ВЗ} = 1$, фрикційна теплостійкість), вал-втулка, диск-колодка (гальмо);
- при качальному русі: диск-колодка, вал-втулка, вал-трубки (вібрознос);
- при зворотно-поступальному русі: стержень-палець (лінійний контакт).

Привід – електромеханічний з плавним регулюванням швидкості.

Вимірювач моменту тертя – електромеханічний;

Притиск зразків – пневматичний (від мережі або від балона), вимірювання сили притиску – манометричний;

Охолодження – водяне (від водопроводу);

Можливе програмування режимів випробувань.

В процесі випробувань вимірюється момент тертя, сила притиску, температура, частота обертання, шлях тертя.

Можливий вихід на ЕОМ.

Машина встановлюється на віброопори, спеціальний фундамент не потрібний.

3 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ

1. Класифікація видів зношування.
2. Вибір матеріалів для деталей, що труться.
3. Числові критерії працездатності матеріалів у парах тертя.
4. Основні правила поєднування матеріалів.
5. Вибір матеріалу спряжених деталей на технологічній стадії розробки вузлів тертя та при їх доведенні.
6. Прилади для вимірювання твердості металів та сплавів.
7. Влаштування та принцип дії прибору ИТ 5010.
8. Методика вимірювання твердості деталей різної конфігурації на приладі ИТ 5010.
9. Устрій та принцип дії машини 2168 УМТ для дослідження матеріалів на тертя.
10. Прилади для вимірювання твердості металів та сплавів.
11. Устрій та принцип дії прибору ИТ 5010.
12. Методика визначення твердості металів по Роквеллу, Віккерсу, Брінеллю.
13. Прилади для зважування, які використовуються в промисловості та при лабораторних дослідженнях.
14. Влаштування та принцип дії машини для досліджень матеріалів на тертя 2168 УМТ.

4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ

4.1. Машина для випробування матеріалів на тертя 2168 УМТ.

4.2. Прилад універсальний для вимірювання твердості металів та сплавів ИТ 5010. Діапазон вимірювання твердості від 8 до 2000 НV з точністю $\pm 3 \%$.

4.3. Ваги типа АДВ-200 з набором різноваг, які дозволяють важити деталі вагою від 1 до 200 г з точністю до 0,0001 г.

4.4. Три пари зразків типу «кільце-кільце» з конструкційної сталі, термооброблені для отримання різних величин твердості (рис. 2.3).

5 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

Сумлінно виконувати усі вимоги техніки безпеки згідно з існуючою інструкцією у лабораторії.

6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

На приладі ИТ 5010 визначити твердість пред'явлених зразків. Розмагнітити та зважити першу пару зразків. Встановити їх на машині згідно рис. 2.2.

Включити вимикач, який подає напругу на пульти керування та машину. Натиснути вимикач «Пуск» електропривода та задати шпинделю потрібну частоту обертання.

За допомогою крана утворення навантаження здійснити поступове навантаження зразків до заданої величини (за вказівкою викладача); включити лічильник обертів. При досягненні заданої кількості обертів машина зупиниться.

Тоді необхідно зняти пару, що досліджується та провести розмагнічування кожного зразка окремо. Потім зразки зважують, а результат заносять до таблиці.

№	Швидкість обертання рухомого зразка, $n, \text{хв}^{-1}$	Твердість зразка HV, ГПа	Питомий тиск між зразками, кг/см^2	Вага зразка, г		Втра та ваги $\Delta P, \text{г}$	Інтенсивність зношування I, $\text{г/об} \cdot 1000$
				до випробування P_1	після випробування P_2		

Аналогічно проводяться дослідження другої та третьої пари зразків.

7 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Назва та мета роботи.
2. Основні положення вибору матеріалів при проектуванні спряжених деталей пар тертя.
3. Дані проведених досліджень, оформлені у вигляді таблиці.
4. Висновки по експлуатаційним властивостям поданих зразків та про обирання матеріалів для спряжених деталей пар тертя.

Перелік джерел посилання

1. Харламов Ю. О., Романченко О. В., Соколов В. І., Кроль О. С., Єпіфанова О. В. Триботехніка і надійність машин : навчальний посібник. Сєвєродонецьк : вид-во СНУ ім. В. Даля, 2021. 184 с.
2. Дмитриченко М. Ф., Мнацаканов Р. Г., Мікосянчик О. О. Триботехніка та основи надійності машин : навчальний посібник. Київ : Інформавтодор, 2006. 216 с.
3. Закалов О. В., Закалов І. О. Основи тертя і зношування в машинах : навчальний посібник. Тернопіль : Видавництво ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 234 с.
4. Мікосянчик О. О., Мнацаканов Р. Г., Харченко О. В., Ільїна О. А. Триботехніка та основи надійності машин : практикум для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня доктора філософії спеціальності 131 «Прикладна механіка». Київ : НАУ, 2023. 93, [1] с.