

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ТРИБОТЕХНІКА

**Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт
для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка
освітня програма “Технології та устаткування зварювання”**

Обговорено і рекомендовано на
засіданні кафедри ЗВ та АПБК
Протокол № 11
від 07.06.2019 р.

Триботехніка. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка (освітня програма “Технології та устаткування зварювання”) / Укл.: Новомлинець О.О., Олексієнко С.В., Ющенко С.М. – Чернігів: ЧНТУ, 2019. – 21 с.

Укладачі: Новомлинець Олег Олександрович, доктор технічних наук, професор
Олексієнко Сергій Владиславович, кандидат технічних наук, доцент
Ющенко Світлана Михайлівна, кандидат технічних наук, доцент

Відповідальний за випуск: Прибитько Ірина Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій

Рецензент: Болотов Геннадій Павлович, доктор технічних наук, професор кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Лабораторна робота №1 Абразивне зношування.....	5
2 Лабораторна робота №2 Вплив середовища на зношування.....	8
3 Лабораторна робота №3 Визначення зносостійкості тонких покриттів.....	11
4 Лабораторна робота №4 Визначення блиску покриття по коефіцієнту відображення світла.....	13
5 Лабораторна робота №5 Визначення сил тертя	16
6 Лабораторна робота №6 Визначення електричного потенціалу трибоелектричним методом.....	19
Рекомендована література.....	21

ВСТУП

Методичні вказівки з описом лабораторних робіт з курсу “Триботехніка” для студентів спеціальності 131 “Прикладна механіка” (освітня програма “Технології та устаткування зварювання”) розраховані на використання студентами протягом одного семестру вивчення дисципліни. Методичні вказівки забезпечують можливість студентам перед виконанням роботи ознайомитися зі змістом лабораторної роботи і методикою її проведення та коротко повторити лекційний матеріал: про критерії якості поверхонь деталей машин, про основні види зношування деталей пар тертя та робочих органів машин; про методи підвищення зносостійкості деталей машин та вузлів тертя.

В описі кожної лабораторної роботи викладені мета, короткі теоретичні відомості, порядок проведення роботи, контрольні питання для самоперевірки.

У результаті виконання лабораторних робіт студент зможе самостійно вирішувати наступні практичні задачі:

1. Визначати методику дослідження зносостійкості конструкційних матеріалів.
2. Проводити вимірювання зносу деталі при різних видах зношування.
3. Визначати природу матеріалу використовуючи трибоелектричний ефект.
4. Оцінювати якість підготовки поверхонь та якість захисного шару.

1 Лабораторна робота №1

АБРАЗИВНЕ ЗНОШУВАННЯ

Мета роботи: вивчити вплив розміру абразивних частинок та навантаження на швидкість абразивного зношування.

1.1 Короткі теоретичні відомості

Зношування - процес відділення матеріалу з поверхні твердого тіла та (або) збільшення його залишкової деформації при терті, що проявляється у поступовій зміні розмірів та (або) форми тіла.

Знос - результат зношування, визначається у встановлених одиницях.

Швидкість зношування - відношення значення зносу до інтервалу часу, протягом котрого він виник.

Зносостійкість - властивість матеріалу проявляти опір зношуванню в певних умовах тертя, що оцінюється величиною, зворотною до швидкості зношування або інтенсивності зношування.

Абразивним матеріалом називається мінерал штучного або природного походження, зерна якого мають достатню твердість і мають властивість різати (дряпати).

Абразивне зношування - це руйнування поверхні деталі в результаті її взаємодії з твердими частками. У ролі таких часток виступають:

- нерухомо закріплені тверді зерна (наприклад, шанжирування твердими частинками м'яких антифрикційних матеріалів).
- незакріплені частки, що входять у контакт із поверхнею деталі (копати землю). Наприклад, насипні вантажі при їхньому транспортуванні, абразивні частки в ґрунті при роботі машин, що оброблюють ґрунт.
- вільні абразивні частки, що втягуються в потік рідиною або газом (гідроабразивне або газоабразивне зношування).
- вільні частки в зазорі пари тертя.

Під абразивне зношування підпадають деталі сільськогосподарських, будівельних, гірничих, транспортних та транспортуючих пристроїв, вузли металургійного обладнання, труби та насоси земснарядів та інших.

На процес абразивного зношування впливає природа абразивних частинок, властивості зношувальних поверхонь, величина навантаження на пару тертя та інші фактори. Загальним для абразивного зношування є механічний характер руйнування поверхні.

Абразивні частки відрізняються і характеризуються розміром, формою, твердістю.

Якщо твердість абразивного матеріалу нижче, ніж твердого металу, то знос не залежить від різниці твердості і швидко зменшується з підвищенням у такій різниці. Якщо твердість абразиву значно перевищує твердість металу, то знос

не залежить від різниці твердості. Якщо ж метал по твердості досягає хоча б 60% від твердості абразиву, то знос його різко сповільнюється.

Якщо для металів застосовують свої методи і міри твердості (по Брюнелю, Роквелу і т.д.), то для абразивних часток (мінералів) твердість вимірюють по шкалі Мооса. Найбільш м'який матеріал – тальк – має твердість 1, алмаз – 10, корунд – 9, кварц – 7.

Абразивні частки збільшують знос як у підшипниках ковзання, так і кочення. Абразивні частки не впливають істотно на роботу гумових підшипників. Гума не дозволяє частці створювати в зазорі високий тиск, і сталевий вал може тільки поліруватися. Гумові підшипники можуть працювати тільки при змащенні водою, а зі збільшенням частоти обертання валу коефіцієнт тертя підшипників знижується. Знос пластмасових підшипників з абразивними частками в 5 разів менше, ніж сталевих.

1.2 Обладнання та матеріали

Лабораторна установка на базі плоскошліфувального верстату (рис. 1.1), зразки зі сталі; наждачний папір, набір важелів, аналітичні ваги.

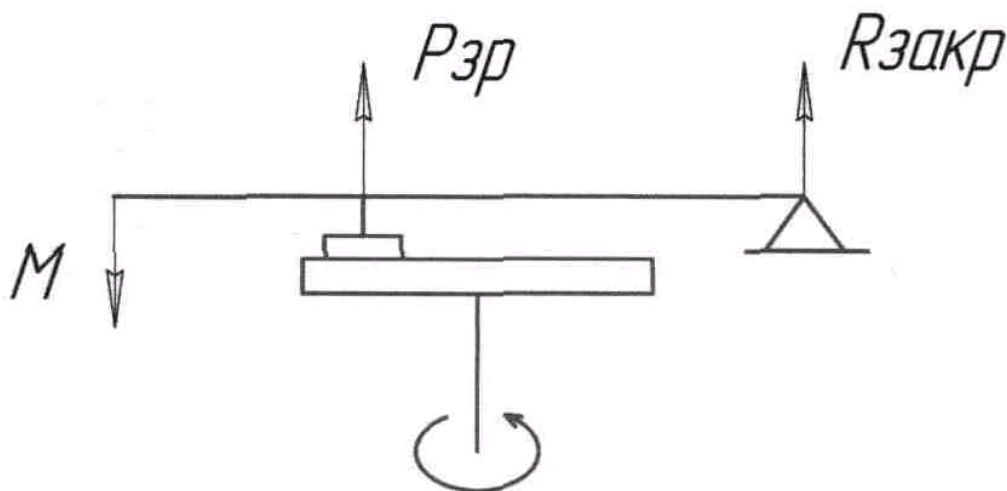


Рисунок 1.1 – Схема навантаження зразків

1.3 Порядок виконання роботи

- 1.3.1. Ознайомитись з питаннями техніки безпеки.
- 1.3.2. Зважити зразки.
- 1.3.3. Провести зношування зразків під різним навантаженням та з різним розміром абразиву наждачного паперу.
- 1.3.4. Після кожного дослідження зважити зразки (час проведення дослідження – 3 хвилини).
- 1.3.5. Побудувати графік залежності швидкості зношування від навантаження для різних розмірів абразиву.
- 1.3.6. Побудувати графік залежності зносостійкості від навантаження для різних розмірів абразиву.

1.4 Зміст звіту

- 1.4.1. Назва роботи, мета та короткі теоретичні відомості.
- 1.4.2. Порядок виконання роботи.
- 1.4.3. Результати досліджень, аналіз отриманих даних, висновки по роботі.

1.5 Контрольні запитання

- 1.5.1. Що називається абразивним матеріалом?
- 1.5.2. Характеристика абразивного зносу.
- 1.5.3. Залежність швидкості абразивного зносу від твердості абразивних частинок.
- 1.5.4. Залежність швидкості абразивного зносу від розміру абразивних частинок.
- 1.5.5. Залежність швидкості абразивного зносу від твердості абразивних частинок.
- 1.5.6. Способи боротьби з абразивним зношенням.

2 Лабораторна робота №2

ВПЛИВ СЕРЕДОВИЩА НА ЗНОШУВАННЯ

Мета роботи: Вивчити вплив різних середовищ на процес зношування пари тертя.

2.1 Короткі теоретичні відомості

Процес поверхневого руйнування речовини під впливом зовнішнього середовища називається *ерозією*. У машинобудуванні під ерозією розуміють руйнування поверхні матеріалу внаслідок механічного впливу високошвидкісного потоку рідини, газу або пари. До ерозії відноситься і руйнування металів під дією електричних зарядів (оксиерозія).

Ерозійний вплив високошвидкісного потоку рідини, газу або пари містить у собі тертя суцільного потоку і його ударів об поверхню. У результаті відбувається розхитування і вимивання окремих обсягів матеріалів.

Якщо потік містить абразивні частки, то зношування стає ерозійно-абразивним.

Корозійно-механічне зношування – зношування в результаті механічної взаємодії, що супроводжується хімічною та (або) електричною взаємодією матеріалу з середовищем.

Окислювальне зношування – зношування, при якому переважає хімічна реакція матеріалу з киснем або окислюючим оточуючим середовищем.

На інтенсивність абразивного зношення значний вплив мають вологість та агресивність середовища. Так, при наявності в абразиві вологи (водопровідної води) біля 1% інтенсивність зношування збільшується в 1,2...2,7 рази.

Вчені Л.А. Юакши, І.Р. Клейс провели лабораторні дослідження на центробіжному прискорювачі з метою дослідити залежність зношування від вологості абразиву та агресивності середовища. Для дослідів застосували воду, а також слабкі розчини оцтової та щавлевої кислоти. Дослідження демонструють, що вода діє як окислювач і може привести до корозії.

При дослідженні впливу кислотності середовища на процес наводнення сталі та її зносостійкості були взяті такі електроліти: 3%-ний розчин оцтової кислоти, 3%-ний розчин лугу (NaOH), рослинний сік, морська та прісна вода. Результати дослідів показують, що найбільш інтенсивно зношуються зразки, що змочуються 3%-ним розчином оцтової кислоти (рН=2,5). У випадку змочування рослинним соком, морською або прісною водою (рН=5,2...7) зношування було в межах 150...200 мг. При застосуванні 3%-ного розчину NaOH (рН=11,5), тобто лужного середовища, зношення мінімальне (14...40 мг).

При терті сталей в кислотному середовищі (розчин оцтової кислоти) питомий вміст водню в поверхневих шарах збільшується в 4,2...4,8 разів.

При терті в лужному середовищі велика зносостійкість обумовлена відсутністю збільшення питомого вмісту водню; це можна пояснити тим, що

виділений при трибохімічних процесах водень вступає в реакцію з іонами ОН з утворенням води.

Практично всі поверхні тертя сталевих і чавунних деталей містять підвищену кількість водню і, отже, піддаються водневому зношуванню при терті. Механізм водневого зношування полягає у наступному:

1. Тертя у результаті трибодеструкції матеріалів, що містять водень, створює умови для утворення дифузійно-здатного водню (атомарний стан) з мастильного матеріалу, палива, парів води, з матеріалів пари тертя.

2. Далі відбувається адсорбція водню на поверхню деталі.

3. Відбувається дифузія водню в деформований шар сталі, швидкість якої залежить від температури і напруження.

4. Водень, що дифундує, концентрується на деякій глибині від поверхні тертя, там, де знаходиться максимум температури при терті.

5. Далі відбувається утворення молекул водню (H_2), питомий об'єм яких значно більше, ніж атомів водню, внаслідок чого поверхневі шари стають крихкими, що приводить до підвищеного зносу контактуючих поверхонь.

Титанові сплави також піддаються водневому зношуванню при терті (водень утворює з титаном хімічне з'єднання, що володіє високою крихкістю).

Основні методи зменшення і попередження водневого зношування:

- введення в сталь Cr, Ti, Va знижує проникнення в неї водню;
- введення в мастильний матеріал присадочних сполук, що містять хлор (хлор з'єднується з воднем, який виділяється на поверхні), знижує дифузію в деталі, що труться.
- зниження температури, швидкості ковзання і тисків, – все це також зменшує насичення деталей воднем.

2.2 Обладнання та матеріали

Лабораторна установка (рис. 2.1), зразки з алюмінію, вода, розчин лугу (NaOH), набір важелів, штангенциркуль.

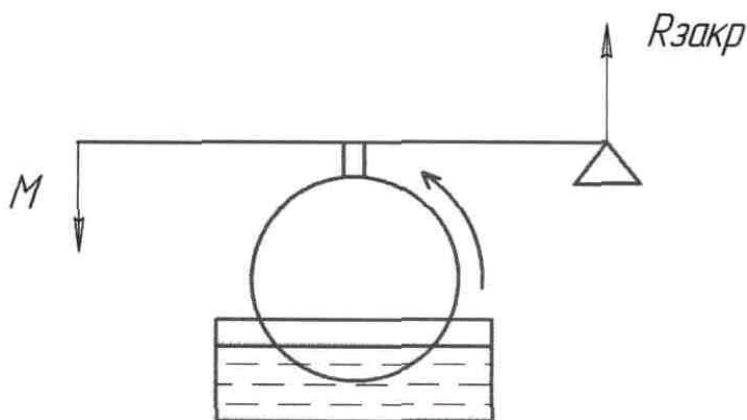


Рисунок 2.1 – Схема навантаження зразків

2.3 Порядок виконання роботи

- 2.3.1 Ознайомитись з питаннями техніки безпеки.
- 2.3.2 Провести зношування алюмінієвого зразка під різним навантаженням (830, 1660 та 2490 грамів) без агресивного середовища (час проведення досліду – 3 хвилини).
- 2.3.3 Після кожного досліду фіксувати величину L (рис. 2.2) та розраховувати знос у одиницях об'єму.

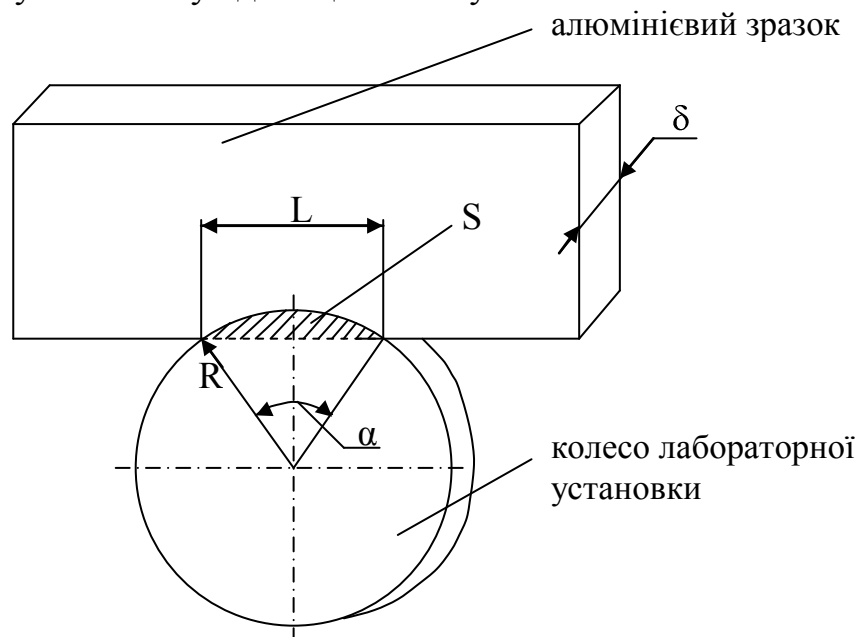


Рисунок 2.2 – Схема для розрахунку величини зносу

- 2.3.4 Виконати пункти 2.3.2, 2.3.3 у середовищі води та розчині лугу (NaOH).
- 2.3.5 Всі експериментальні та розрахункові дані занести до таблиці.
- 2.3.6 Побудувати залежність швидкості зношування від навантаження в різних середовищах.
- 2.3.7 Побудувати графіки залежності зносостійкості від навантаження в різних середовищах.
- 2.3.8 Побудувати стовпчасту діаграму зношування в різних середовищах.

2.4 Зміст звіту

- 2.4.1 Назва роботи, мета та короткі теоретичні відомості.
- 2.4.2 Порядок виконання роботи.
- 2.4.3 Результати досліджень, аналіз отриманих даних, висновки по роботі.

2.5 Контрольні запитання

- 2.5.1 Що таке ерозія?
- 2.5.2 Характеристика окислювального зношування.
- 2.5.3 Характеристика корозійно-механічного зношування.
- 2.5.4 Механізм водневого зношування сталевих та чавунних деталей.
- 2.5.5 Методи зменшення і попередження водневого зношування.

3 Лабораторна робота №3

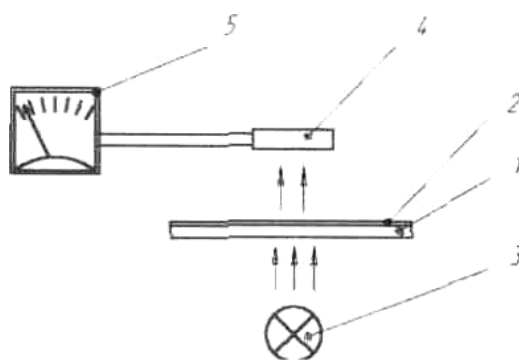
ВИЗНАЧЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТОНКИХ ПОКРИТЬ

Мета роботи: Визначити зносостійкість покрить, нанесених методом металізації у вакуумі.

3.1 Короткі теоретичні відомості

Для одержання на поверхні контактуючих матеріалів зносостійких покрить існує багато способів: електрохімічне металопокриття, дифузійне насичення, газотермічне напылення, вакуумне осадження та ін. Зносостійкість таких покрить можна визначати багатьма способами, вимірюючи знос в одиницях маси, об'єму, площі, довжини та ін. Однак при визначенні зносостійкості тонких покрить звичайними способами виникають проблеми, пов'язані з неточністю вимірювань. У зв'язку з цим іноді застосовують нестандартні методики визначення зносу у відносних одиницях, що дає змогу точно оцінити якість тонких покрить. Однією з таких методик є визначення зносостійкості, фіксуючи прозорість зразка при обробці абразивом тонкого покриття, нанесеного на скляну пластинку у вакуумі.

Схема визначення прозорості показана на рисунку 3.1.



- 1 – скло; 2 – тонке покриття; 3 – лампа накаливання;
4 – фотоелемент; 5 – мікроамперметр

Рисунок 3.1 – Схема визначення прозорості зразка

При проведенні лабораторних робіт застосовують зразки, прозорість яких не перевищує 40% для отримання достовірних даних. Найкраще проводити досліди із зразками, прозорість яких знаходиться в межах від 10% до 90%. Слід уважно слідкувати за станом наждачного паперу на інструменті. Для отримання точних результатів рекомендується для кожного нового зразка застосовувати новий наждачний папір.

Фотодатчик на базі фотодіода ФД-163 реагує на світлове випромінювання не тільки видимого діапазону спектру, але й на інфрачервоне випромінювання. Тому для виключення помилок при визначенні прозорості зразків не можна

довго тримати ввімкнутою лампу просвічування, через те що вона, маючи велику потужність (21 Вт), нагріває зразок, що викликає похибку датчика.

3.2 Обладнання та матеріали

Лабораторна установка, набір скляних пластинок з нанесеним тонким покриттям з різних матеріалів (алюміній, мідь, хром), тонкий наждачний папір, набір важелів.

3.3 Порядок виконання роботи

- 3.3.1 Ознайомитись з питаннями техніки безпеки.
- 3.3.2 Ввімкнути установку.
- 3.3.3 Кнопкою "установка нуля" виставити прозорість на 100% по шкалі мікроамперметра при знятому зразку.
- 3.3.4 Встановити зразок і визначити його прозорість.
- 3.3.5 Провести зношування на протязі 1-ї хвилини під заданим навантаженням.
- 3.3.6 Визначити прозорість зразка.
- 3.3.7 Повторити пункти 3.3.5, 3.3.6 необхідну кількість разів.
- 3.3.8 Побудувати графік залежності швидкості зношування від часу.
- 3.3.9 Побудувати графік залежності зносостійкості від часу.

3.4 Зміст звіту

- 3.4.1 Назва роботи, мета та короткі теоретичні відомості.
- 3.4.2 Порядок виконання роботи.
- 3.4.3 Результати досліджень, аналіз отриманих даних, висновки по роботі.

3.5 Контрольні запитання

- 3.5.1 Одиниці вимірювання зносу.
- 3.5.2 Основні методики визначення зносостійкості.
- 3.5.3 Способи створення тонких покриттів.
- 3.5.4 Вплив товщини покриття та його зносостійкості.
- 3.5.5 Механізм зношування тонких покриттів.

4 Лабораторна робота №4

ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ ЗА КОЕФІЦІЄНТОМ ВІДОБРАЖЕННЯ СВІТЛА

Мета роботи: Визначення якості обробки поверхні деталей за коефіцієнтом відображення світла.

4.1 Короткі теоретичні відомості

Якість поверхні деталі – це комплексний показник, який визначається геометрією поверхні, структурою й фізико-хімічними властивостями поверхні та приповерхневих шарів, а також залишковими напруженнями.

Якість поверхні деталей машин впливає на всі службові властивості машин: на опір втоми; на зносостійкість; на корозійну стійкість; на ерозійну стійкість і т.д. Якість поверхні не є постійним показником.

Деталі на кресленнях зображуються у вигляді елементів, обмежених поверхнями чітко визначеної геометричної форми. Розміри деталей, які визначають її форму – це номінальний профіль.

У процесі виготовлення одержують деталь, що відрізняється за формою та розмірами від номінальних. Ці відхилення форми й розмірів від ідеальних, заданих кресленням, називаються *технологічними*.

У процесі експлуатації розміри деталі починають відрізнятися і від номінальних форм, і від технологічних відхилень. Ці відхилення називаються *експлуатаційними*.

Технологічні відхилення обробленої поверхні з погляду причин їх виникнення й методів вимірювальної техніки, застосованої для їхнього визначення, можна розділити на три категорії:

- макрогеометричні відхилення;
- мікроскопічні (хвилястість поверхні) ;
- субмікроскопічні (шорсткість поверхні).

Точне графічне зображення реального профілю одержують за допомогою приладу профілографа-профілометра. За допомогою цього приладу вимірюють клас шорсткості.

На практиці якісну оцінку підготовки поверхні після шліфування або полірування можна провести за допомогою визначення блиску поверхні.

Блиск може бути визначений декількома способами. Найпростіший спосіб визначення блиску є візуальне спостереження. Але воно дає лише якісне відображення та носить суб'єктивний характер.

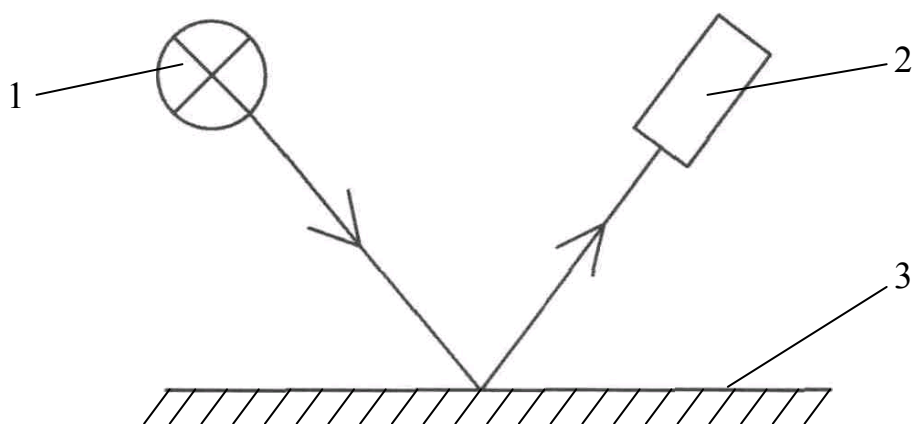
Блиск визначається співвідношенням між інтенсивністю дзеркально-відображеного і дифузійно-розсіяного світла. Тому блиск поверхні характеризується наступним рівнянням:

$$B = I_0 / (I_0 + I_p) = I_0 / I_c, \quad (4.1)$$

де I_0 – інтенсивність дзеркально-відображеного світла;
 I_p – інтенсивність дифузійно-розсіяного світла;
 B – блиск поверхні;
 $I_c = I_0 + I_p$ – сумарна інтенсивність світлового випромінювання.

У випадку ідеальної дзеркальної поверхні це співвідношення $I_0 / I_c = 1$, так як $I_p = 0$. Чим більший блиск поверхні, тим ближче до одиниці співвідношення I_0 / I_c .

Дзеркально-відображене світло вимірюється або оптичним приладом-фотометром, або приладом з фотоелементом. Схема вимірювання блиску поверхні за допомогою фотоелемента показана на рисунку 4.1.



1 – лампа накалювання; 2 – фотоелемент; 3 – поверхня деталі

Рисунок 4.1 – Схема вимірювання блиску поверхні за допомогою фотоелемента

Коефіцієнт відображення світла визначається наступним чином: вимірюється загальна інтенсивність відображеного і дифузійно-розсіяного світла від поверхні зразка і порівнюється з інтенсивністю такого ж світлового променя, відображеного від дзеркала (срібного або алюмінієвого), тобто:

$$K = I_1 / I_2 \cdot 100\%, \quad (4.2)$$

де K – коефіцієнт відображення світла;
 I_1 – величина фотоструму для дослідної поверхні;
 I_2 – величина фотоструму для дзеркальної поверхні.

Якісно блиск поверхні оцінюється наступним чином:

- дзеркальний – чіткість відображення малюнка на покритті відповідає зображенню на дзеркалі;
- блискучий – чітке зображення малюнка на покритті, але верхній кінець зображення нечіткий;

- в) напівблискучий – зображення малюнка помітне, але нечітке;
- г) матовий – зображення малюнка дуже нечітке і помітне лише на найближчій до малюнку частині зразка;
- д) глибокоматовий – зображення предмету відсутнє.

4.2 Обладнання та матеріали

Лабораторна установка на базі полірувального станка, вимірювальний пристрій, набір наждачного паперу з різним розміром абразиву, дзеркало, зразки зі сталі.

4.3 Порядок виконання роботи

- 4.3.1 Підготувати зразки зі сталі з різною шорсткістю, поліруючи їх наждачним папером з різним розміром абразиву.
- 4.3.2 Визначити за допомогою вимірювального пристрою інтенсивність світлового променя, відображеного від дзеркала.
- 4.3.3 Визначити за допомогою вимірювального пристрою інтенсивність світлового променя, відображеного від поверхні зразків різної шорсткості.
- 4.3.4 За формулою 4.2 визначити коефіцієнт відображення світла для кожного зразку та порівняти їх.
- 4.3.5 Визначити ступінь блиску якісно для кожного зразка за вказаними критеріями.
- 4.3.6 Всі експериментальні та розрахункові дані занести до таблиці.
- 4.3.7 Побудувати графік залежності коефіцієнт відображення світла від шорсткості поверхні.

4.4 Зміст звіту

- 4.4.1 Назва роботи, мета та короткі теоретичні відомості.
- 4.4.2 Порядок виконання роботи.
- 4.4.3 Результати досліджень, аналіз отриманих даних, висновки по роботі.

4.5 Контрольні запитання

- 4.5.1 Характеристика якості поверхні деталей.
- 4.5.2 Види та категорії відхилень форми та розмірів деталей від ідеальних.
- 4.5.3 Способи визначення шорсткості поверхні.
- 4.5.4 Методика вимірювання коефіцієнту відображення світла.
- 4.5.5 Якісна оцінка блиску поверхні.

5 Лабораторна робота №5

ВИЗНАЧЕННЯ СИЛ ТЕРТЯ

Мета роботи: Визначити сили тертя в залежності від навантаження

5.1 Короткі теоретичні відомості

Тертя спокою – тертя двох тіл при мікрозміщеннях, до переходу до відносного руху.

Тертя руху – тертя двох тіл, що перебувають у відносному русі.

Тертя ковзання – тертя руху двох твердих тіл, при якому швидкості тіл у місцях різні за величиною та напрямком, або за величині, або за напрямком.

Тертя кочення – тертя руху двох твердих тіл, при якому їх швидкості в місцях торкання однакові за величиною і напрямком.

Сила тертя – сила опору при відносному переміщенні одного тіла на поверхні іншого під дією зовнішньої сили.

Найбільша сила тертя спокою – сила тертя спокою, будь-яке перевищення якої веде до виникнення руху.

Поверхня тертя – поверхня тіла, що приймає участь в терті.

Зовнішнє тертя поділяють на тертя ковзання та тертя кочення. При зовнішньому терті ковзання взаємодія твердих тіл обумовлена процесами, що відбуваються в тонких (до 10 мкм) поверхневих шарах цих тіл. Вона може відбуватись при відсутності змащувального матеріалу (сухе тертя) або при наявності його в зоні контакту в кількості, що виключає виникнення гідродинамічних ефектів (тертя при граничному змащенні).

При зовнішньому терті завжди відбувається деформування тонких поверхневих шарів тіл, що взаємодіють. Кількісною мірою зовнішнього тертя є сила зовнішнього тертя ($F_{тр}$). Дуже часто силу тертя порівнюють з зовнішньою силою, що прикладають до контактуючих твердих тіл викликаючи їх ковзання. Ця сила дорівнює силі тертя, але має протилежний напрямком.

Експериментально визначено, що при зсуві сила тертя зростає і при збільшенні зміщення одного твердого тіла відносно іншого до деякого значення залишається незмінною і незалежною від переміщення. Або зменшується до деякого значення, також незалежно від переміщення. Відносне мікрозміщення (δ) двох твердих тіл при терті виникає в межах переходу від стану спокою до відносного руху.

Сила тертя менша сили тертя спокою і залежить від зсуву та називається неповною силою тертя спокою. Відношення сили тертя до нормальної сили відносно поверхні тертя зовнішньої сили (або нормальної складової цієї сили) називається коефіцієнтом тертя.

Ще наприкінці 15 століття Леонардо да Вінчі запропонував формулу:

$$F_{mp} = f \cdot N, \quad (5.1)$$

де F – сила тертя;
 N – сила реакції опори;
 f – коефіцієнт тертя ($f_{\text{сталь по сталі}} = 0,20$, $f_{\text{сталь по льоду}} = 0,015$).

Шарль Кулон у 18 столітті запропонував формулу:

$$F_{mp} = A + f \cdot N, \quad (5.2)$$

де A – сила схоплення або молекулярна складова.

Таким чином тертя – це процес, який має *молекулярно-механічну природу*.

Визначення сил та коефіцієнтів тертя має великий практичний та теоретичний інтерес. В процесі тертя відбувається перетворення роботи зовнішніх сил найбільшим чином в теплоту, а силові взаємодії викликають руйнацію поверхневих шарів деталей нерухомих з'єднань, тобто їх зношування. Велике значення сили тертя мають в забезпеченні роботи машин та безпеки руху. Використовуючи загальні положення теорії взаємодії твердих тіл при зовнішньому терті, можливо при мінімальних витратах отримувати суттєвий ефект.

Схема для визначення сили тертя представлена на рисунку 5.1.

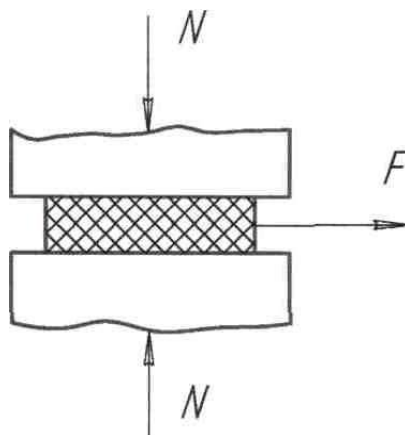


Рисунок 5.1 – Схема для визначення сили тертя

5.2 Обладнання та матеріали

Лабораторна установка, полімерний зразок, зразок з алюмінію, динамометрична скоба.

5.3 Порядок виконання роботи

- 5.3.1 Ознайомитись з питаннями техніки безпеки.
- 5.3.2 Закріпити полімерний зразок в тримачі.

- 5.3.3 Затиснути зразок і відмітити показник мікрометра.
- 5.3.4 За допомогою тарувального графіку визначити навантаження на зразок.
- 5.3.5 З малою швидкістю викручувати тримач з полімером, фіксуючи показання вимірювача деформацій до початку відносного руху.
- 5.3.6 За допомогою тарувального графіку визначити навантаження на зразок, що призвело до відносного руху.
- 5.3.7 Повторити пункти 5.3.2-5.3.6 для зразка з алюмінію.
- 5.3.8 Всі експериментальні та розрахункові дані занести до таблиці.
- 5.3.9 Побудувати графік залежності сили тертя спокою від навантаження.
- 5.3.10 Побудувати графік залежності коефіцієнта тертя від навантаження.

5.4 Зміст звіту

- 5.4.1 Назва роботи, мета та короткі теоретичні відомості.
- 5.4.2 Порядок виконання роботи.
- 5.4.3 Результати досліджень, аналіз отриманих даних, висновки по роботі.

5.5 Контрольні запитання

- 5.5.1 В чому різниця між тертям кочення та ковзання?
- 5.5.2 Характеристика зовнішнього тертя.
- 5.5.3 Молекулярно-механічна природа сили тертя.
- 5.5.4 Характеристика коефіцієнту тертя.
- 5.5.5 Способи зменшення коефіцієнту тертя.

6 Лабораторна робота №6

ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ТРИБОЕЛЕКТРИЧНИМ МЕТОДОМ

Мета роботи: Визначити трибоелектричний потенціал різних матеріалів.

6.1 Короткі теоретичні відомості

Якщо контактуючі метали мають різну роботу виходу електронів, то відбувається перерозподіл електронів до рівноважного стану. При цьому один метал заряджається відносно іншого. Різниця потенціалів між ними називається *контактною різницею потенціалів*. Контактна різниця потенціалів лежить в основі електризації металів при їхньому взаємному зіткненні, взаємному ковзанні, ударі.

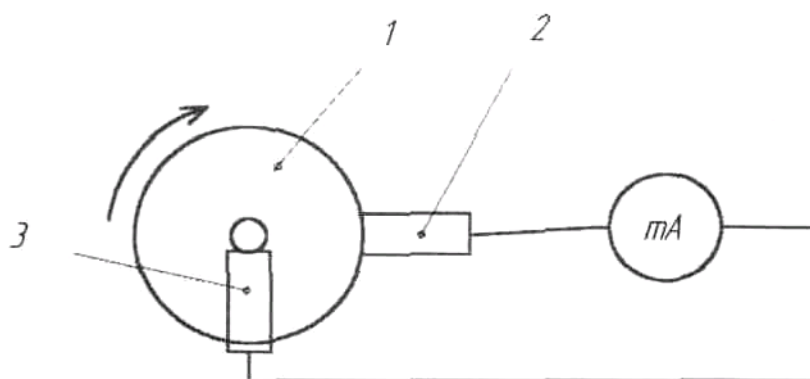
Таким чином, якщо два різнорідних матеріали (сталь з бронзою, сталь з алюмінієм та ін.) під навантаженням переміщувати один по одному з'являється деяка напруга. Ця напруга змінюється від мілівольт до декількох вольт в залежності від хімічного складу металів.

Це явище відоме під назвою *трибоелектричного ефекту*. Такий ефект з'являється також при терті однорідних металів, один з яких є термообробленим. Якість обробки поверхонь зразків майже не впливає на трибоелектричний потенціал, але поверхні контактуючих металів повинні бути очищені від окалини та забруднювачів.

Випробування трибоелектричним методом дозволяють встановити вміст в вуглецевих сталях домішок (фосфору, сірки, кремнію). Цим методом визначають наявність міді в сплавах. Метод дозволяє відрізнити аустенітні корозійностійкі сталі від сталей інших марок, а також проводити сортування мідних сплавів в залежності від вмісту в них сурми.

6.2 Обладнання та матеріали

Лабораторна установка (рис. 6.1), розчин оцтової кислоти, алюмінієві та бронзові зразки, вольтметр.



1 – зразок №1; 2 – зразок №2; 3 – струмознімач

Рисунок 6.1 – Схема визначення трибоелектричного потенціалу

6.3 Порядок виконання роботи

- 6.3.1 Ознайомитись з питаннями техніки безпеки.
- 6.3.2 Закріпити зразок на валу двигуна.
- 6.3.3 Підключити вольтметр.
- 6.3.4 Фіксувати початкові та кінцеві показники вольтметра.
- 6.3.5 Виконати пункт 6.3.3 при наявності сухого тертя (повітря), а потім при наявності кислого середовища (розчин оцтової кислоти).
- 6.3.6 Виконати пункти 6.3.4, 6.3.4 з алюмінієвим та бронзовим зразками.
- 6.3.7 Всі експериментальні дані занести до таблиці.
- 6.3.8 Побудувати графічну залежність трибоелектричного потенціалу від швидкості.

6.4 Зміст звіту

- 6.4.1 Назва роботи, мета та короткі теоретичні відомості.
- 6.4.2 Порядок виконання роботи.
- 6.4.3 Результати досліджень, аналіз отриманих даних, висновки по роботі.

6.5 Контрольні запитання

- 6.5.1 Природа виникнення контактної різниці потенціалів.
- 6.5.2 Характеристика трибоелектричного ефекту.
- 6.5.3 Методика визначення трибоелектричного потенціалу.
- 6.5.4 Залежність трибоелектричного потенціалу від стану поверхні.
- 6.5.5 Практичне застосування трибоелектричного ефекту.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Костецкий Б. И. Износостойкость деталей машин. Киев-Москва: Машиностроение, 1980. 170 с.
2. Физика твердого тела: Энциклопедический словарь. В 2-х т. / гл. ред. В. Г. Барьяхтар. Киев: Наукова думка, 1998. 648 с.
3. Беркович И. И., Громаковский Д. Г. Трибология. Физические основы, механика и технические приложения. Учебник для вузов. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2000. 268 с.
4. Гаркунов Д. Н. Триботехника (износ и безызносность). Учебник. 4-е изд., перераб. и доп. Москва: Изд-во МСХА, 2001. 616 с.
5. Чичинадзе А. В., Браун Э. Д., Буше Н. А. и др. Основы трибологии (трение, износ, смазка). 2-е изд. переработ., и доп. Москва: Машиностроение, 2001. 664 с.
6. Гаркунов Д. Н. Триботехника (конструирование, изготовление и эксплуатация машин). Учебник. 5-е изд., перераб. и доп. Москва: Изд-во МСХА, 2002. 632 с.
7. Роганов Л. Л. Триботехника. Курс лекций. Краматорск: Изд-во ДГМА, 2003. 77 с.
8. Антипенко А. М., Белас О. М., Вотченко О. С. та ін. Основи трибології. Харків: ХНТУСГ, 2008. 342 с.
9. Пенкин Н. С., А. Н. Пенкин. Основы трибологии и триботехники. Москва: Машиностроение, 2008. 206 с.
10. Закалов О. В., Закалов І. О. Основи тертя і зношування в машинах. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 322 с.
11. Полюшкин Н. Г. Основы теории трения, износа и смазки. Красноярск: Краснояр. гос. аграр. ун-т, 2013. 192 с.
12. Войнов К. Н. Триботехника и надежность механических систем. Учеб.-метод. пособие. Санкт-Петербург: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. 74 с.