

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до виконання самостійних робіт з дисципліни "Трибологія"  
для студентів спеціальності 133 – Галузеве машинобудування  
освітньої програми «Металорізальні  
верстати та системи» усіх форм навчання

Запоріжжя  
2024

Методичні вказівки до виконання самостійних робіт з дисципліни "Трибологія" для студентів спеціальності 133 – Галузеве машинобудування освітньої програми «Металорізальні верстати та системи» усіх форм навчання /Розр.: В.В. Циганов, В.І.Чорний - Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. - 13с.

Розробник: В. В. Циганов, професор  
В.І.Чорний, асистент

Рецензент: В.В. Солоха

Затверджено  
на засіданні кафедри  
«Металорізальні верстати та  
інструменти»  
Протокол № 8 від 04.03.2024

Рекомендовано  
до видання методичною  
комісією машинобудівного  
факультету  
Протокол № 7 від 05.03.2024

## Зміст

|                                                                                                                                                                  |   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| Вступ.....                                                                                                                                                       | 4 |
| Самостійна робота № 1                                                                                                                                            |   |
| Підготовка до визначення видів зношування і пошкоджуваності елементів трибоз'єднань металорізальних верстатів та систем з використанням літературних джерел..... | 4 |
| Самостійна робота № 2                                                                                                                                            |   |
| Підготовка до визначення показників якості поверхонь деталей машин та їх впливу на трибологічні характеристики робочих поверхонь.....                            | 5 |
| Самостійна робота № 3                                                                                                                                            |   |
| Підготовка до вивчення фізико-хімічних властивостей поверхонь деталей і контактуючих поверхонь.....                                                              | 6 |
| Самостійна робота № 4                                                                                                                                            |   |
| Методи підвищення зносостійкості деталей верстатного обладнання.....                                                                                             | 6 |
| Література.....                                                                                                                                                  | 7 |
| Додаток А. Перелік тем контрольних робіт з дисципліни «Трибологія».....                                                                                          | 9 |

## Вступ

**Мета викладання дисципліни** – формування у студентів базових теоретичних знань і практичних навичок розв’язання задач з науки про тертя та зношування контактних поверхонь при їх взаємному переміщенні.

**Завданнями** вивчення дисципліни «Трибологія» є опанування методами керування процесами контактної взаємодії в трибоз’єднаннях металорізальних верстатів та вибором методів підвищення зносостійкості деталей машин. Вивчення цієї дисципліни є необхідною складовою частиною підготовки фахівців, що забезпечуватимуть конструювання, виробництво та експлуатацію металорізальних верстатів та систем.

У результаті вивчення навчальні дисципліни студент повинен знати і вміти використовувати:

- основні фактори зовнішнього впливу середовища і специфіки умов експлуатації машинобудівного обладнання та тертя та зношування деталей рухомих з’єднань і деталей робочих органів;
- поняття про якість поверхні і її вплив на трибологічні характеристики матеріалів;
- знання про тертя та процеси зношування в зоні контакту поверхонь;
- механізми зношування твердих тіл;
- види зношування та способи їх визначення;
- тертя та зношування полімерів;
- мастильні матеріали та мащення тертьових поверхонь;
- засоби підвищення зносостійкості деталей трибоз’єднань;
- методи інженерного розрахунку довговічності та показників зношування триботехнічних систем контактної взаємодії.

## Самостійна робота № 1

**Підготовка до визначення видів зношування і пошкоджуваності елементів трибоз’єднань металорізальних верстатів та систем з використанням літературних джерел.**

**Мета роботи.** Ознайомлення з класифікацією видів зношування і пошкоджуваності деталей машин та методами їх визначення.

**Вказівки** до виконання роботи.

Провести аналіз видів зношування та умов їх виникнення. Звернути особливу увагу на характерні признаки топографії їх поверхонь після зношування. Знайти метод та устаткування для визначення величини зносу при кожному виді зношування. Навести порівняльну характеристику інтенсивностей зношування при різних видах зношування.

**Контрольні питання.**

1. Назвіть види механохімічного, корозійно-механічного зношування.
2. За яких умов виникає абразивне зношування?
3. В чому полягає сутність вибіркового перенесення?
4. Що таке фретинг і коли він виникає?
5. Якими методами визначається знос напрямних ковзання металорізальних верстатів? Назвіть найбільш поширений.

## **Самостійна робота № 2**

### **Підготовка до визначення показників якості поверхонь деталей машин та їх впливу на трибологічні характеристики робочих поверхонь.**

**Мета роботи.** Ознайомлення з основними знаннями про поверхню деталей, її макро- і мікрогеометрію, шорсткість, субшорсткість, напружено-деформований стан та структурні і фазові перетворення в поверхневому шарі при терті та зношуванні [1, 2, 4].

**Вказівки** до виконання роботи.

Визначитись з поняттям ідеальної і реальної поверхні твердих тіл. Мати уяву про взаємодію між твердою поверхнею і навколишнім середовищем, про особливості контактної взаємодії шорстких поверхонь, про деформування металів, адгезію і когезію контактуючих поверхонь, рівноважну і нерівноважну шорсткість.

**Контрольні питання.**

1. Назвіть показники макро- і мікрогеометрії поверхні твердих тіл.
2. Якими показниками характеризується напружено-деформований стан поверхневого шару?
3. Що таке залишкові напруження і як вони впливають на зносостійкість контактуючих поверхонь?

4. Якими методами користуються ждя визначення показників деформованого стану?

5. Як впливає шорсткість поверхні на її трибологічні характеристики?

6. В чому полягає сутність рівноважної і нерівноважної шорсткості?

### **Самостійна робота № 3**

#### **Підготовка до вивчення фізико-хімічних властивостей поверхонь деталей і контактуючих поверхонь.**

**Мета роботи.** Ознайомлення з фізико-хімічними властивостями поверхонь твердих тіл.

**Вказівки** до виконання роботи.

Визначитись з утворенням і властивостями плівок на металічних поверхнях. Мати уяву про сорбційні, хімічні, фізичні процеси, ефект Ребіндера, поверхневу енергію, механохімічні процеси при терті твердих тіл.

**Контрольні питання.**

1. Розкрийте поняття поверхневої енергії твердих тіл.
2. В чому полягають сорбційні і хемсорбційні процеси при терті?
3. В чому полягає сутність ефекту Ребіндера?
4. Які типи плівок утворюються на залізі при взаємодії з кисневим середовищем? Назвіть їх типи.
5. Як впливають оксиди на зносостійкість металічних поверхонь?
6. Як розрахувати рівноважну шорсткість поверхні?

### **Самостійна робота № 4**

#### **Методи підвищення зносостійкості деталей верстатного обладнання.**

**Мета роботи.** Ознайомлення з сучасними методами підвищення зносостійкості робочих поверхонь деталей машин.

**Вказівки** до виконання роботи.

Визначитись з осиновими методами підвищення зносостійкості деталей трибоз'єднань верстатного обладнання на етапах: конструювання верстатів (конструкторські методи), виготовлення

(технологічні методи) та експлуатації (експлуатаційні методи). Ознайомитись з методами розрахунку та прогнозування змінювання кінематичних параметрів машин при їх зношуванні.

### **Контрольні питання.**

1. Назвіть основні конструкторські методи підвищення зносостійкості деталей машин.
2. Наведіть приклад раціональної конструкції механізму.
3. В чому полягає принцип рівномірного зношування?
4. Назвіть основні технологічні методи підвищення зносостійкості. В чому вони полягають?
5. В чому полягає принцип саморегулювання?
6. Назвіть основні експлуатаційні методи підвищення зносостійкості деталей машин і механізмів.

### **Література**

1. Трибологія: підр. / М.В. Кіндрачук, В.Ф. Лабунець, М.І. Пашечко і інш. – К.: Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2009. – 392 с.
2. Ясь Д.С. та ін. Випробування на тертя та знос. – К.: «Техніка», 1971. – 140 с.
3. Термінологічний словник-довідник. Трибологія (український, російський, англійський): / Богуслаєв В.О., Івченко Л.Й., Кубіч В.І., Фролов М.В.; за заг. ред. Л.Й. Івченка. – Запоріжжя, ПАТ «Мотор Січ», 2019. – 218с.
4. Поверхнева міцність матеріалів при терті. – К.: Техніка, 1976. – 291 с.
5. Запорожець В.В., Бердинських В.А. Діагностика вузлів тертя авіаційної техніки та спецмашин. – К: КНИГА, 1987. – 163 с..
6. Формування зносостійких евтектичних покриттів концентрованими джерелами енергії / М.В. Кіндрачук, О.І. Дудка, В.С. Черненко та ін. –К.:ІЗМН, 1997. –119с.
7. Канарчук В.Е. Довговічність та знос при динамічних режимах роботи – К.: «Наукова думка», 1978. – 256 с.
8. Формування зносостійких евтектичних покриттів концентрованими джерелами енергії / М.В. Кіндрачук, О.І. Дудка, В.С. Черненко та ін. –К.:ІЗМН, 1997. –119с.

9. Клименко С.А., Мельнічук Ю.О., Встовський Г.В. Фрактальна параметризація структури матеріалів, їх оброблюваність різанням та зносостійкість різального інструменту. – К: ІНМ НАН України, 2009. – 172 с.

10. Кузьменко А.Г. Методи розрахунків і випробувань на зношування та надійність. - Хмельницький: ХНУ, 2002. –152 с

11. <http://www.wikipedia.org>

## **Додаток А.**

### **Перелік тем контрольних завдань по курсу «Трибологія»**

1.1 Класифікація видів зношування і пошкоджуваності деталей машин. Корозійно-механічне зношування. Сутність процесу зношування. Приклади трибовузлів, де має місце цей вид зношування. Основні параметри, які впливають на процес.

1.2 Методи та засоби випробувань на зношування. Методи та засоби визначення зносу. Методи та засоби боротьби з цим видом зношування.

2.1 Класифікація видів зношування і пошкоджуваності деталей машин. Зношування при заїданні. Сутність процесу зношування. Приклади трибовузлів, де має місце цей вид зношування. Основні параметри, які впливають на процес.

2.2 Методи та засоби випробувань на зношування. Методи та засоби визначення зносу. Методи та засоби боротьби з цим видом зношування.

3.1 Класифікація видів зношування і пошкоджуваності деталей машин. Зношування при фретингу. Сутність процесу зношування. Приклади трибовузлів, де має місце цей вид зношування. Основні параметри, які впливають на процес.

3.2 Методи та засоби випробувань на зношування. Методи та засоби визначення зносу. Методи та засоби боротьби з цим видом зношування.

4.1 Класифікація видів зношування і пошкоджуваності деталей машин. Зношування при фретинг-корозії. Сутність процесу зношування. Приклади трибовузлів, де має місце цей вид зношування. Основні параметри, які впливають на процес.

4.2 Методи та засоби випробувань на зношування. Методи та засоби визначення зносу. Методи та засоби боротьби з цим видом зношування.

5.1 Класифікація видів зношування і пошкоджуваності деталей машин. Водневе зношування. Сутність процесу зношування. Приклади трибовузлів, де має місце цей вид зношування. Основні параметри, які впливають на процес.

5.2 Методи та засоби випробувань на зношування. Методи та засоби визначення зносу. Методи та засоби боротьби з цим видом зношування.

6.1 Класифікація видів зношування і пошкоджуваності деталей машин. Абразивне зношування. Сутність процесу зношування. Приклади трибовузлів, де має місце цей вид зношування. Основні параметри, які впливають на процес.

6.2 Методи та засоби випробувань на зношування. Методи та засоби визначення зносу. Методи та засоби боротьби з цим видом зношування.

7.1 Класифікація видів зношування і пошкоджуваності деталей машин. Окислювальне зношування. Сутність процесу зношування. Приклади трибовузлів, де має місце цей вид зношування. Основні параметри, які впливають на процес.

7.2 Методи та засоби випробувань на зношування. Методи та засоби визначення зносу. Методи та засоби боротьби з цим видом зношування.

8.1 Класифікація видів зношування і пошкоджуваності деталей машин. Корозія. Сутність процесу зношування. Приклади трибовузлів, де має місце цей вид зношування. Основні параметри, які впливають на процес.

8.2 Методи та засоби випробувань на зношування. Методи та засоби визначення зносу. Методи та засоби боротьби з цим видом зношування.

11.1 Класифікація видів зношування і пошкоджуваності деталей машин. Кавітаційне зношування. Сутність процесу зношування. Приклади трибовузлів, де має місце цей вид зношування. Основні параметри, які впливають на процес.

11.2 Методи та засоби випробувань на зношування. Методи та засоби визначення зносу. Методи та засоби боротьби з цим видом зношування.

10.1 Класифікація видів зношування і пошкоджуваності деталей машин. Ерозійне зношування. Сутність процесу зношування. Приклади трибовузлів, де має місце цей вид зношування. Основні параметри, які впливають на процес.

10.2 Методи та засоби випробувань на зношування. Методи та засоби визначення зносу. Методи та засоби боротьби з цим видом зношування.

11.1 Класифікація видів зношування і пошкоджуваності деталей машин. Вибіркове перенесення при терті. Сутність процесу

зношування. Приклади трибовузлів, де має місце цей вид зношування. Основні параметри, які впливають на процес.

11.2 Методи та засоби випробувань на зношування. Методи та засоби визначення зносу. Методи та засоби боротьби з цим видом зношування.

12.1 Конструкційні методи підвищення зносостійкості деталей верстатного обладнання. Зменшення навантаження на поверхню тертя. Принцип рівномірного зношування. Автоматична компенсація зносу. Вибір раціональної конструкції. Надати необхідні схеми.

12.2 Методи та засоби визначення зносу.

13.1 Конструкційні методи підвищення зносостійкості деталей машин. Вибір матеріалів для тертьових деталей. Правила сполучення матеріалів. Розташування матеріалів пар тертя за твердістю. Пряма і зворотна пари.

13.2 Методи та засоби визначення зносу.

14.1 Конструкційні методи підвищення зносостійкості деталей машин. Заміна в вузлах тертя ковзання тертям кочення, заміна зовнішнього тертя внутрішнім тертям. Жорсткість, податливість як фактори підвищення зносостійкості пар тертя. Надати приклади.

14.2 Методи та засоби визначення зносу.

15.1 Конструкційні методи підвищення зносостійкості деталей машин. Застосування плаваючих опор. Температурні деформації та знос. Розвантаження робочих поверхонь. Засоби установлювання вузлів, які зменшують додаткові напруження при монтажу і експлуатації.

15.2 Методи та засоби визначення зносу.

16.1 Конструкційні методи підвищення зносостійкості деталей машин. Принцип рівномірного зношування. Вибір раціональної конструкції. Захист робочих поверхонь від забруднення. Захист деталей від паразитних струмів.

16.2 Методи та засоби визначення зносу.

17.1 Технологічні методи підвищення зносостійкості деталей машин. Хіміко-термічна обробка робочих поверхонь. Гальванічні покриття поверхонь деталей. Деформаційне зміцнення. Лазерне зміцнення.

17.2 Методи та засоби визначення зносу.

Експлуатаційні методи підвищення зносостійкості деталей трибовузлів. Обкатка машин. Вибір мастильного матеріалу. Вплив умов експлуатації та режимів роботи на знос. Граничний знос і терміни служби машин.

18. Методи та засоби визначення зносу.

19.1 Якість поверхні деталей машин. Показники якості поверхні. Макро- і мікрогеометрія. Сумікрошорсткість. Рівноважна і нерівноважна шорсткість.

19.2 Розрахунок площ контакту.

20.1 Якість поверхні деталей машин. Показники якості. Напружений стан. Структурні та фазові перетворення. Деформаційне зміцнення.

20.2 Контакт двох шорстких поверхонь. Стрижнева модель.

21.1 Фізико-хімічні властивості поверхонь деталей машин. Адсорбція і хемосорбція. Ефект Ребіндера.

21.2 Розрахунок рівноважної шорсткості.

22.1 Види тертя у вузлах машин. Сухе тертя. Граничне тертя. Рідинне тертя.

22.2 Підшипники ковзання. Розрахунок кута контакту пари «вал-втулка».

23.1 Механізм зношування металічних поверхонь. Взаємодія поверхонь. Зміни, що визиваються деформацією. Вплив температури. Хімічна дія середовища.

23.2 Розрахунок інтенсивності зношування і ресурсу з'єднання «вал-втулка».

24.1 Механізм зношування металічних поверхонь. Елементарні види руйнування.

24.2 Розрахунок ущільнення валів.

25.1 Зношення полімерів та резин.

25.2 Розрахунок зносу деталей шліцьового з'єднання.

26.1 Стадії зношування пар тертя.

26.2 Розрахунок зносу зубчастих коліс.

27.1 Зношування в екстремальних умовах.

27.2 Розрахунок зносу кулачка.

28.1 Вторинні структури при терті. Властивості вторинних структур.

28.2 Методи та засоби визначення фактичної площі контакту.

Структурні перетворення при терті металів. Структура і

властивості. Вплив структури на зносостійкість.

29.1 Граничні зноси механізмів.

29.2 Прогнозування втрати точності обробки при зношуванні трибоз'єднань верстата. Розрахунок і прогнозування зносу з урахуванням макropriпрацювання.

29.3 Зміна динамічних параметрів машин при зношуванні їх деталей.

