

Міністерство освіти і науки України
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра технологій машинобудування та матеріалознавства

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
до виконання практичних робіт з дисципліни
«Мастильні матеріали»
для бакалаврів спеціальностей 132 Матеріалознавство
та 161 Хімічні технології та інженерія

Дніпро
НТУ «ДП»
2020

Затверджено до видання в світ редакційною радою НТУ «Дніпровська політехніка» (протокол № 9 від 14.09.2020) за поданням кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства (протокол № 7 від 03.09.2020).

Козечко В.А. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт для бакалаврів з дисциплін «Мастильні матеріали» спеціальності 132 Матеріалознавство та «Технологія конструкційних матеріалів» спеціальності 161 Хімічні технології та інженерія / В.А. Козечко; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2020. – 18 с.

Подано методичні рекомендації до виконання практичних робіт з дисциплін «Мастильні матеріали» для бакалаврів спеціальності 132 Матеріалознавство та «Технологія конструкційних матеріалів» спеціальності 161 Хімічні технології та інженерія.

ЗМІСТ

Практична робота №1 Вивчення конструкції машини тертя СМЦ-2.....	4
Практична робота №2 Дослідження трибологічних властивостей матеріалів на машині тертя СМЦ-2.....	8
Література	14

Практична робота № 1

Вивчення конструкції машини тертя СМЦ-2

Мета роботи: вивчення конструкції машини тертя СМЦ-2, її можливості, методики роботи. Ознайомитись з роботою вимірювальної системи та реєструючої апаратури

Загальні відомості

Трибометрія – наука, що вивчає методи визначення трибологічних (фрикційних) параметрів матеріалів. Для визначення трибологічних властивостей матеріалів в лабораторних умовах використовують трибометр або машини тертя. На трибометр об'єктом дослідження є модельна трибосистема, в якій взаємодіють зразок і контртіло.

Зразок - змінний елемент модельної трибосистеми, для матеріалу якого визначають трибологічні властивості.

Контртіло - постійний елемент модельної трибосистеми.

Основною перевагою застосування випробувань на трибометр є те, що з'являється можливість прискорити проведення експерименту і спростити його постановку за рахунок використання теорії моделювання і подібності. Важливою характеристикою умов контактної взаємодії в модельній трибосистемі є коефіцієнт взаємного перекриття $K_{зв}$, що є відношенням площі поверхні тертя зразка $A_{зраз}$ і контртіла $A_{кт}$.

$$K_{зв} = \frac{A_{зраз}}{A_{кт}}$$

Величина коефіцієнта взаємного перекриття визначає розвиток теплових процесів в елементах трибомеханічної системи.

Оскільки в технічних пристроях зустрічаються трибомеханічні системи різної структури, для їх моделювання в лабораторних умовах використовуються трибометр різної конструкції.

Трибометри класифікують за характером відносного руху зразка (класи: установки односпрямованого відносного переміщення; установки знакозмінного відносного переміщення), всередині кожного класу виділяють дві групи машин, які відрізняються за характером контактування зразка і контртіла (машини торцьового тертя; машини тертя з контактом по утворюючій), всередині кожної групи виділяють дві підгрупи, що відрізняються значенням коефіцієнтом взаємного перекриття: $K_{зв} \rightarrow 1$, $K_{зв} \rightarrow 0$.

Такий поділ машин тертя необхідно для моделювання різних видів руйнування поверхонь тертя і для виявлення впливу на характер руйнування окремих факторів (наприклад фізико-хімічних процесів).

За однобічному і знакозмінному рухах характери руйнування різко відрізняються. Проведені до цього часу дослідження показали, що зміна коефіцієнта взаємного перекриття змінює знос зразка на кілька порядків.

Торцеве тертя і тертя по котра утворює дають різний ефект в умовах граничного змащення, тому що змінюються умови освіти і руйнування плівок мастила.

Трибометр СМЦ-2, будучи модифікацією машини тертя Амслера, призначений для випробування матеріалів на знос і визначення їх фрикційних властивостей в умовах тертя ковзання і тертя кочення занормальних температур для модельних трибосистем, схема яких представлена на рис. 1, диск-диск (а), диск-колодка (б), втулка-вал (в).

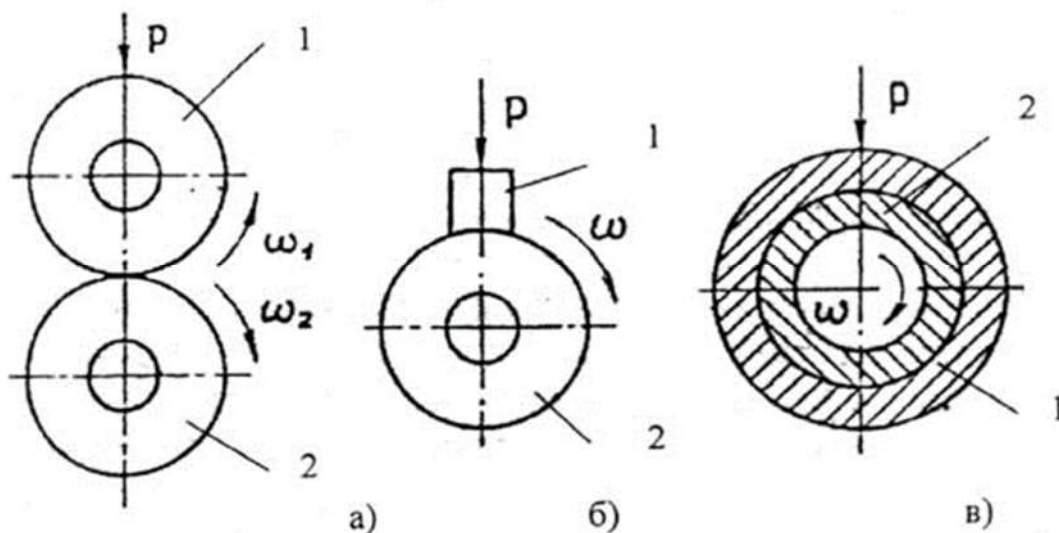


Рисунок 1 – Модельні трибосистеми, що реалізуються на машині тертя СМЦ-2: 1- зразок, 2 – контртіло (а – диск-диск; б – диск-колодка; в – вал-втулка)

Пару тертя диск-диск використовують для моделювання роботи трибосполучень з лінійним контактом елементів, таких як колесо рейок (наприклад кранові ходові колеса, що переміщуються по рейці) або зубчасте зачеплення. За взаємного обкатування взаємодіючих дисків з деяким прослизанням в зоні їх контакту виникають умови навантаження матеріалу, відповідні навантаження матеріалу зубчастого колеса в будь-якій точці лінії контакту (зачеплення). Пара тертя диск-колодка використовується для моделювання роботи трибосполучень сухого і граничного тертя (гальмівні колодки і ін.). За використання модельної трибосистеми втулка-вал можливо дослідження гідродинамічної опори тертя.

Трибометр укомплектований пристроями для тарировки його силових систем, а також для проведення випробувань елементів модельних трибосистем диск-диск і диск-колодка в рідких середовищах передбачено використання спеціальних камер.

Кінематична схема трибометр представлена на рис. 2. Привід обертання зразка 8 і контртіла 9 здійснюється від електродвигуна 1 за допомогою клинопасової передачі 2 і шестерень 3. Клиноременева передача зі змінними шківками, дозволяє проводити випробування за малих навантажень на зразок.

В каретці 5, повертається навколо осі валу 4, розташовані змінні шестерні 6, що працюють в масляній ванні, для приводу зразка 8. Передаточне

відношення цих шестерень визначає ступінь сковзання зразка і контртіла під час випробувань на тертя кочення зі сковзанням.

Для проведення досліджень працездатності трибосистеми в рідких середовищах трибометр оснащений спеціальною камерою.

Момент тертя вимірюється безконтактним індуктивним датчиком 10 по скручуванню торсіонного валу 11, на якому закріплено контртіло 9. Реєстрацію моменту тертя виробляють самозаписуючий потенціометр типу КСП-2.

Каретка консольно кріпиться в бабці нижнього зразка. Каретка може бути знята з машини для установки і роботи з камерою для зразків "вал-втулка".

Щоб виключити навантаження на зразки від неврівноважених мас консольно закріпленої каретки на машині є противаги, котрі розміщуються всередині станини машини.

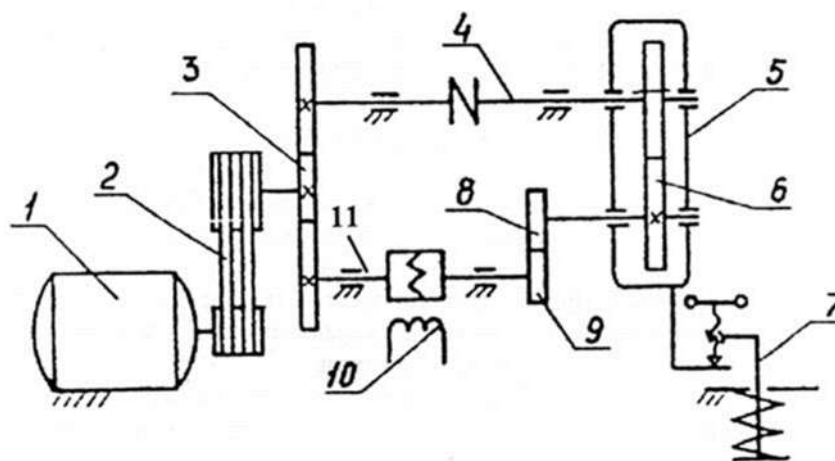


Рисунок 2 – Кінематична схема машини тертя СМЦ-2: 1 – електродвигун, 2 – клиноріменна передача зі змінними шківками, 3 – шестерні приводу зразка та контртіла, 4 – проміжний вал, 5 – каретка, 6 – змінні шестерні приводу зразка, 7 – пристрій що навантажує, 8 – зразок, 9 – контртіло, 10 – індукційні датчик моменту тертя, 11 – торсион

Технічні дані машини тертя СМЦ-2

1. Частота обертання контртіла, об/хв – 300, 500, 1000
2. Коефіцієнт сковзання круглих зразків з однаковими діаметрами, % –
0, 10, 15, 20
3. Максимальний момент тертя, Н·м – 15
4. Діапазон зміни моменту тертя, Н·м – 1,5...15
5. Діапазон зміни навантаження, Н:
Диск-диск; колодка-колодка – 200...2000
Вал-втулка – 500...5000
6. Потужність, кВА – 2,2
7. Межа погрішності коефіцієнта сковзання, % – 5
8. Межа погрішності числа обертів контртіла від вимірюваної величини – 10 %

Для вимірювання крутного моменту на машині використовують безконтактний індуктивний датчик, що складається з двох частин: обертового

ротора і нерухомого статора. Основною частиною ротора є торсіон. Під час випробування виникає момент тертя, який скручує вал нижнього зразка. Другий кінець валу з'єднаний з торсіоном датчика, який сприймає цей же момент. Під його дією торсіон скручується, а крайні кільця ротора зміщуються щодо середнього кільця в різні боки на рівні кути. До того ж, змінюється магнітний потік, отже відбувається зміна ЕРС. Електричні сигнали подаються на потенціометр.

Підготовка машини до роботи.

Встановити зразки на валу таким чином, щоб радіальне биття їх під час провертання від руки не перевищувало 0,1 мм.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити конструкцію трибометр.
2. Розглянути реалізацію на трибометр випробування в умовах тертя кочення і ковзання.
3. Розглянути систему навантаження зразка
4. Розглянути систему вимірювання та реєстрації моменту тертя
5. Оформити протокол лабораторної роботи, що містить кінематичну схему трибометр, ескізи зразків і контртіла

Контрольні питання

1. Трибометр. Обумовлені параметри.
2. Зразок і контртіло.
3. Класифікація трибометр за спрямованістю руху. Приклади.
4. Класифікація трибометр за характером контактування зразка і контртіла. Приклади.
5. Класифікація трибометр за коефіцієнтом взаємного перекриття. Приклади.
6. Модельні трибосистеми, що реалізуються на трибометр СМЦ-2
7. Кінематичні і силові характеристики модельних трибосистем, що реалізуються на трибометр СМЦ-2.
8. Порядок роботи на трибометр.
9. Методика вимірювання моменту тертя.
10. Вимірювання зносу зразків.
11. Порядок роботи з аналітичними вагами.
12. Техніка безпеки під час роботи з трибометром.
13. Які види захисту від перевантажень передбачені в конструкції трибометр СМЦ-2.
14. Вимоги, що пред'являються до точності установки зразків.
15. Переваги застосування випробувань на трибометр.
16. Порядок підготовки трибометр для проведення випробувань з тертя ковзання.

Практична робота № 2

Дослідження трибологічних властивостей матеріалів на машині тертя СМЦ-2

Мета роботи: вивчення роботи трибометр СМЦ-2 з різними модельними трибосистемами. Освоєння методик визначення зносу зразків і сили тертя, розрахунку характеристик зношування.

Загальні відомості

Трибологічні властивості – властивості матеріалу, які визначаються під час навантаження в умовах модельної трибосистеми. Найважливішими обумовленими з трибологічних характеристик матеріалу є: знос і сила тертя. Відповідно до вимог ГОСТ 27674-88 "Тертя, зношування та змащування. Терміни та визначення" можна дати наступні визначення:

Знос – результат зношування, що визначається у встановлених одиницях. Значення зносу може бути виражено в одиницях довжини (лінійний знос $\Delta h = h_0 - h_1$, об'ємний знос $\Delta V = V_0 - V_1$, масовий знос $\Delta m = m_0 - m_1$).

Сила тертя – сила опору за відносного переміщення одного тіла по поверхні іншого під дією зовнішньої сили, тангенціально спрямована до спільного кордону між цими тілами.

Знос характеризує втрату металу під час роботи трибосполучень і визначає довговічність вузла тертя. Енергетичні втрати від тертя (робота сили тертя) досить істотні. У цьому процесі виділяється енергія, що розсіюється в навколишнє середовище, величина її впливає на коефіцієнт корисної дії механізму. Крім того фрикційний розігрів контактуючих поверхонь деталей сполучення може призвести до зміни виду порушення фрикційної зв'язку і також по- впливати на довговічність вузла тертя в сторону його зниження.

У трибологічних випробуваннях прийняті наступні кількісні характеристики процесу зношування: знос (лінійний, об'ємний, масовий), швидкість зношування, інтенсивність зношування, зносостійкість.

Знос – експериментально визначається величина. Швидкість і інтенсивність зношування – розрахункові величини.

Швидкість зношування – відношення величини зносу до інтервалу часу, протягом якого він мав місце:

$$\gamma_h = \frac{\Delta h}{\Delta t} \left[\frac{\text{мм}}{\text{с}} \right], \gamma_m = \frac{\Delta m}{\Delta t} \left[\frac{\text{мг}}{\text{с}} \right], \gamma_V = \frac{\Delta V}{\Delta t} \left[\frac{\text{мм}^3}{\text{с}} \right] \quad (1)$$

Інтенсивність зношування – відношення величини зносу до зумовленого шляху, на якому він мав місце, або до обсягу виконаної роботи:

$$I_h = \frac{\Delta h}{\Delta l} [-], I_m = \frac{\Delta m}{\Delta l} \left[\frac{\text{мг}}{\text{м}} \right], I_V = \frac{\Delta V}{\Delta l} \left[\text{мм}^2 \right] \quad (2)$$

Зносостійкість – властивість матеріалу чинити опір зношування в певних умовах тертя, що оцінюється величиною, зворотної швидкості зношування або інтенсивності зношування.

Для порівняльної оцінки зносостійкості групи матеріалів прийняте використовувати відносну зносостійкість.

Відносна зносостійкість ε – відношення зносу (або інтенсивності зношування) матеріалу зразка і еталона в однакових умовах трибологічних випробувань.

$$\varepsilon = \frac{\Delta h_{\text{зраз}}}{\Delta h_{\text{ет}}}, \text{ або } \varepsilon = \frac{\Delta I_{\text{зраз}}}{\Delta I_{\text{ет}}} \quad (3)$$

Інтенсивність лінійного зношування або зносостійкість сполучення і його деталей (у випробуваннях в регламентованому для кожного типу виробів режимі) є найбільш універсальним і комплексним показником для об'єктивного контролю і прогнозування стану вузлів тертя під час експлуатації.

Термін служби елемента трибосопрязаний (у допущенні, що за цей період $I_h = \text{const}$) в загальному випадку можна визначити по залежності:

$$t = \frac{[\Delta]}{I_h \cdot V_{\text{ск}}} \quad (4)$$

де $[\Delta]$ – допустимий знос елемента; $V_{\text{ск}}$ – швидкість ковзання на поверхні тертя.

Для виконання розрахунку по залежності (4) необхідно задатися трьома параметрами, з яких інтенсивність зношування можна визначити експериментальним шляхом або прийняти з використанням методу прецедентів, тобто прийняти за аналогією з довідкових даних. До того ж. умови навантаження матеріалу в реальному і модельній трибосистемі повинні бути максимально близькі.

Для визначення інтенсивності зношування матеріалу необхідно мати дві вихідні величини – знос і шлях тертя. Знос в лабораторній роботі визначають зважуванням зразка на аналітичних вагах під час випробувань. Шлях тертя визначають розрахунком.

Модельна трибосистема "диск-колодка"

Вихідні дані: a – довжина колодки; d_2 – діаметр контртіла, n_2 – частота обертання контртіла; t – час випробувань; N_2 – сумарна кількість оборотів контртіла за час випробувань.

З курсу геометрії маємо такі співвідношення для сектора окружності:

$$a = d_2 \cdot \sin(\alpha/2) \text{ – хорда (довжина колодки);}$$

$$l = 8.7 \cdot 10^{-3} d_2 \cdot \alpha \text{ – довжина дуги } (\alpha \text{ – центральний кут, див. рис. 2a)}$$

$$\text{Шлях тертя зразка – } L_{1\text{тр}} = \pi \cdot d_2 \cdot n_2 \cdot t \quad (5)$$

$$\text{Шлях тертя контртіла} - L_{2\text{тр}} = l \cdot n_2 \cdot t \quad (6)$$

Модельна трибосистема «диск-диск»

Вихідні дані: d_1, d_2 – діаметр зразка і контртіла; n_1, n_2 – частоти обертання зразка і контртіла; N_1, N_2 – суммарна кількість обертів зразка і контртіла за час дослідження t .

$$L_{\text{мп}} = L_1 - L_2,$$

де $L_1 = \pi \cdot d_1 \cdot N_1 = \pi \cdot d_1 \cdot n_1 \cdot t$ – шлях, пройдений крапкою на поверхні тертя зразка;

$L_2 = \pi \cdot d_2 \cdot N_2 = \pi \cdot d_2 \cdot n_2 \cdot t$ – теж для контртіла.

$$L_{\text{тр}} = \pi \cdot t \cdot (d_1 \cdot n_1 - d_2 \cdot n_2) \quad (7)$$

Для отримання дійсної кількості числа обертів зразка показники лічильника необхідно помножити на 100.

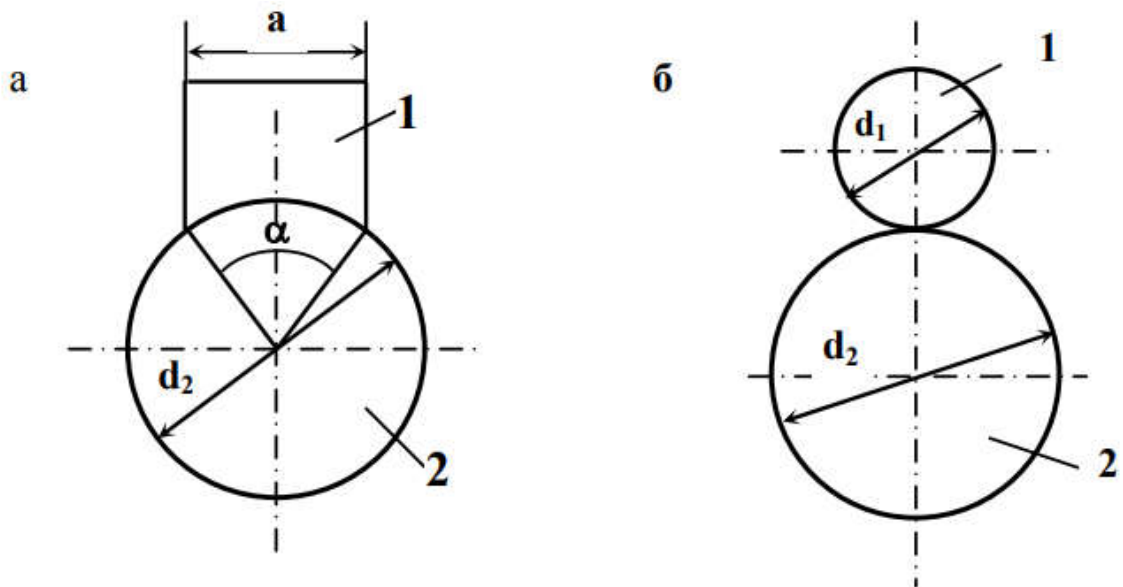


Рисунок 2 – Модельні трибосистеми (а – «диск-колодка», б – «диск-диск»)

Другим фіксується параметром, що визначає процеси, що протікають в матеріалах в зоні фрикційного контакту, є момент тертя МТР, який реєструється самопишучим приладом. Для визначення коефіцієнта тертя для модельної трибосистеми "диск-колодка" необхідно знати навантаження на трибосполучення F .

$$f = \frac{2 \cdot M_{\text{тр}}}{d_2 \cdot F} \quad (8)$$

На результат трибологічних випробувань впливає велика кількість чинників, тому для даного виду випробувань особливо важливо обґрунтоване призначення обсягу необхідної вибірки експериментальних даних:

$$\bar{x} - \varepsilon \leq x \leq \bar{x} + \varepsilon$$

Величина ε , характеризує точність отриманого результату може визначатися:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \cdot t_{k,\alpha} \quad (9)$$

де σ – середньоквадратичне відхилення випадкової величини; n – кількість вимірювань; $t_{k,\alpha}$ – коефіцієнт Стюдента, який залежить від рівня значущості α і ступеня свободи вибірки k .

$$\alpha = 1 - P, \quad k = n - 1$$

У технічних розрахунках найбільш часто приймають $P = 0.95$ або $\alpha = 0.05$.

Збільшуючи кількість вимірювань (паралельних дослідів) n , навіть за незмінної їх точності, можна збільшити надійність довірчих оцінок або звужити довірчий інтервал (9). За необхідної довірчої ймовірності P необхідну кількість вимірювань n для досягнення необхідної точності ε можна визначити по залежності:

$$n \geq \frac{t_{\alpha,k} \cdot \sigma^2}{\varepsilon^2} \quad (10)$$

Розрахунок необхідної кількості вимірювань за формулою (10) можливий, якщо відома заздалегідь σ . В іншому випадку n можна визначити, задавши порядок майбутньої середньоквадратичної помилки щодо $q = \varepsilon/\sigma$ (див. додаток П4). Під час випробувань механічних і трибологічних властивостей матеріалів слід дотримуватися виконання наступного нерівності:

$$\varepsilon = \frac{\hat{\varepsilon}}{\bar{x}} \cdot 100\% \leq 5\% \quad (11)$$

У загальному випадку крива "знос-час" має три ділянки (рис. 3а). Після збирання деталі сполучаються по виступах нерівностей. Площа фактичного контакту є мала, тобто під час навантаженні пари тертя діє великий тиск. В результаті цього на початку роботи має місце підвищений знос трибоспряжень.

Спрацювання мікронерівностей контактуючих поверхонь призводить до зниження інтенсивності зношування в зв'язку зі збільшенням несучої поверхні. Процес сталого зношування полягає в деформуванні, руйнуванні і безперервному відтворенні на окремих ділянках поверхневого шару зі

стабільними властивостями. Збільшення зазорів в з'єднаннях погіршує умови рідинного змащення і може привести до підвищення динамічності роботи трибоспряжень. Зміни в макрогеометрії контактуючих поверхонь у подальшій роботі може викликати збільшення інтенсивності зношування і привести до відмови трибоспряжень.

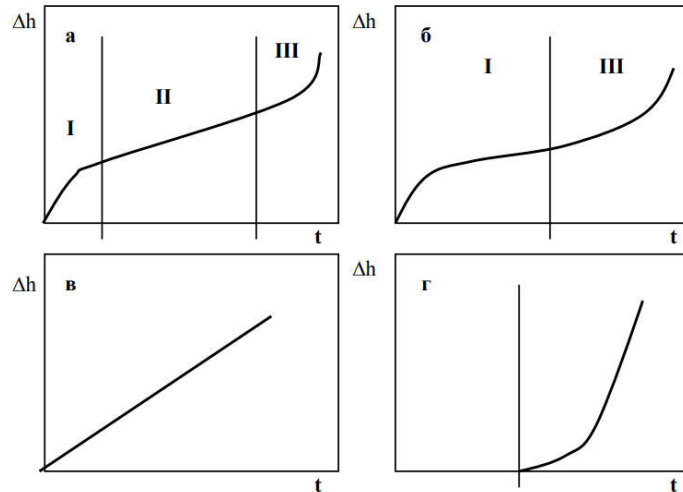


Рисунок 3 – Криві кінетики зношування: I – приробітку; II – усталений знос; III – катастрофічний знос

Схема на рис. 3б має місце за неправильної конструкції трибоспряжень. Відсутність стадій підробітки і катастрофічного зносу (рис. 3в) характерно для роботи ріжучого інструменту, виконавчої тільних органів машин, що працюють в умовах абразивного зношування (наприклад, лезо лемеша плуга по ширині задньої фаски; ланцюгові передачі сільськогосподарських машин). Для роботи вищих кінематичних пар (підшипники кочення) характерна відсутність стадій підробітки і усталеного зносу (рис. 3г). Необхідно відзначити, що тангенс кута нахилу, утвореного віссю абсцис і дотичної до кривої в довільній точці, визначає швидкість зношування в даний момент часу.

У зв'язку з тим, що дослідження роботи конкретного трибоспряження на трибометр СМЦ-2 проводиться з використанням модельних трибосистем під час проведення випробувань необхідно прагнути до того, щоб питомий тиск і швидкість ковзання на контакті повинні відповідати реальним значенням. У цьому випадку значення коефіцієнта тертя і процес зношування повинні відповідати натурних вузлів. Однак, якщо для роботи трибоспряжень характерна підвищена температура, то її також необхідно враховувати у моделюванні режиму роботи трибосистеми на трибометр СМЦ.

Під час дослідження зносу зразків в лабораторній роботі модельна трибосистеми працює в умовах сталого зносу.

Устаткування, інструменти і матеріали:

Трибометр СМЦ-2, аналітичні ваги, комплект зразків для випробування в умовах ковзання і кочення з проковзуванням, міряльний інструмент.

Порядок виконання роботи

1. Визначення трибологічних властивостей матеріалів в умовах тертя ковзання.

1.1. Реалізувати модельну трибосистему, встановивши контртіло-диск і зразок-колодку (привід зразка повинен бути відключений).

1.2. Вибрати за вказівкою викладача умови випробування (Швидкість ковзання і навантаження).

1.3. Провести методичні дослідження. Визначити час напрацювання, за якого маса зношеного матеріалу в 10, 20, 30, 40 разів перевищує точність, що забезпечується аналітичними вагами.

1.4. Вибрати час випробувань. Провести 5 вимірів величини зносу зразка і моменту тертя.

1.5. Результати вимірювань занести в таблицю результатів.

1.6. Виконати статистичну обробку отриманої вибірки.

1.7. Розрахувати інтенсивність зношування матеріалу зразка.

2. Визначення трибологічних властивостей матеріалів в умовах тертя кочення з ковзання.

2.1. Реалізувати модельну трибосистему, встановивши контртіло-диск і зразок-диск. Вибрати величину проковзування і встановити відповідні змінні шестерні приводу зразка.

2.2. Вибрати за вказівкою викладача навантаження.

2.3... 2.8. Виконуються за аналогією з пунктами 1.3...1.7.

3. Оформити протокол лабораторної роботи.

Контрольні питання

1. Що називають швидкістю зношування?

2. Як визначити інтенсивність зношування?

3. Чим відрізняються поняття зносостійкість і відносна зносостійкість?

4. Як визначити термін служби елементів трибосопрямих?

5. Як визначити шлях тертя зразка і контртіла під час проведення випробувань на трибометр СМЦ-2?

6. Які параметри можна фіксувати під час випробувань на трибометрі?

7. Як за результатами випробувань на трибометр СМЦ-2 визначити коефіцієнт тертя?

8. Які стадії процесу зношування ви можете назвати?

9. У яких умовах працює модельна трибосистема під час дослідження зносу зразків?

10. Що характерно для роботи вищих кінематичних пар з точки зору їх зношування?

11. Як визначити необхідну кількість вимірювань за необхідній довірчій ймовірності для досягнення необхідної точності?

Література

1. Крагельский И.В., Добычин Н.Н., Комбалов В.С. Основы расчётов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977, 526 с.
2. Испытательная техника: Справочник в 2-х кн. - М.: Машиностроение, 1982

Методичне видання

Козечко Вікторія Анатоліївна

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання практичних робіт для бакалаврів з дисциплін
«Мастильні матеріали» спеціальності 132 Матеріалознавство
та «Технологія конструкційних матеріалів» спеціальності 161 Хімічні
технології та інженерія

Видано в світ

у Національному технічному університеті
«Дніпровська політехніка».

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19