

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

До друку й у світ дозволяю
Заст. ректора

Гладкий І.П.

Методичні вказівки
до практичних робіт з дисципліни
«Основи теорії тертя та зношування»
для студентів спеціальності 6.010104

Всі цитати, цифровий,
фактичний матеріал і
бібліографічні відомості
перевірені, написання одиниць
відповідає стандартам

Упорядники:

Цибульський В.А.
Назаров О.І.
Тимченко О.І.
Назаров І.О.

Відповідальний за випуск Подригало М.А.

Харків 2017

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Методичні вказівки
до практичних робіт з дисципліни
«Основи теорії тертя та зношування»
для студентів спеціальності 6.010104

Харків 2017

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Методичні вказівки
до практичних робіт з дисципліни
«Основи теорії тертя та зношування»
для студентів спеціальності 6.010104

Затверджено
методичною радою університету,
протокол № від

Харків 2017

Упорядники:

ЦИБУЛЬСЬКИЙ Вадим Анатолійович
НАЗАРОВ Олександр Іванович
ТИМЧЕНКО Олексій Ігорович
НАЗАРОВ Іван Олександрович

Кафедра технології машинобудування і ремонту машин

Методичні вказівки призначені для проведення практичних занять, які дозволяють закріпити теоретичні знання, одержані під час вивчення курсу «Проблеми підвищення ремонтпридатності АТЗ», студентами спеціальності 7.01010401 «Професійна освіта. Транспорт» за освітньо-кваліфікаційним рівнем – спеціаліст.

В результаті вивчення курсу та проходження практичних занять студент повинний:

- знати основні терміни, поняття та визначення, на яких будується дисципліна;

- знати фізичну сутність явищ, що мають місце на поверхнях деталей під час їх зношування;

- знати види зношування та основні способи підвищення зносостійкості поверхонь;

- вміти визначати величину зносу і виконувати розрахунки деталей на знос і довговічність.

Практичні роботи виконуються під час аудиторних занять.

Кожний студент самостійно оформляє в електронному вигляді дві практичні роботи, які загалом містять дев'ять задач, у відповідності до поданого у методичних вказівках прикладу виконання, використовуючи вихідні дані (Додаток А), та відправляє їх по електронній пошті, яку надає керівник.

Практична робота №1 (9 годин)

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЗНОШУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ

Мета роботи – визначення характеристик зношування поверхонь тертя із використанням основних залежностей для кількісної оцінки.

1 Короткі теоретичні відомості

1.1 Знос

Знос – результат зношування, визначений у прийнятих одиницях вимірювання (довжини, об'єму, маси та ін.).

Розрізняють граничний і допустимий зноси.

Визначають за формулою [1]

$$U = \mathcal{G}_3 \cdot \tau, \quad (1)$$

або

$$U = I \cdot \mathcal{G} \cdot \tau, \quad (2)$$

де \mathcal{G}_3 – швидкість зношування;

τ – час, за який визначається знос;

\mathcal{G} – швидкість відносного ковзання елемента, що зношується;

I – інтенсивність зношування поверхні.

1.2 Швидкість зношування

Швидкість зношування визначається як відношення величини зносу до часу зношування [1]

$$\mathcal{G}_3 = \frac{U}{\tau}. \quad (3)$$

1.3 Інтенсивність зношування поверхні

Інтенсивність зношування – це відношення величини зносу до шляху тертя, вздовж якого відбувалося зношування.

Лінійна інтенсивність зношування визначається як [1]

$$I_h = \frac{h}{L} \quad (4)$$

або

$$I_h = \frac{V}{L \cdot A_a}, \quad (5)$$

де h – товщина стертого шару;

L – шлях тертя;

V – зношений об'єм матеріалу;

A_a – номінальна площа контакту.

Вагова характеристика зносу [1]

$$I_g = \frac{g}{L \cdot A_a}, \quad (6)$$

де g – маса стертого матеріалу.

В залежності від властивостей матеріалів і умов деформування поверхня, яка зношується, може піддаватись пружнім, пружно-пластичним або пластичним деформаціям.

Значення параметрів, що входять до виразів (1) – (6), повинні мати відповідні одиниці вимірювання.

В разі пружного контакту залежність для оцінки інтенсивності зношування має вигляд [2]

$$I = \frac{C_1 \cdot p_a^{1+\beta \cdot t}}{\chi} \cdot \left(\frac{E}{1-\mu} \right)^{t-\beta \cdot t-1} \cdot \left(\frac{k \cdot f}{C_2 \cdot \sigma_0} \right)^t, \quad (7)$$

або

$$I = \frac{C_1 \cdot p_a^{1+\beta \cdot t}}{\chi \cdot (1-\mu^2)^{t-\beta \cdot t-1}} \cdot \left(\frac{p_a}{E} \right)^{1+\beta \cdot t} \cdot \left(\frac{k \cdot f}{C_2 \cdot \sigma_0} \right)^t, \quad (8)$$

де p_a – номінальний тиск, кг/см^2 , (задається умовою задачі в МПа);

E – модуль пружності, кг/см², ($E_1 = 1,5 - 5$ МПа для гуми; $E_2 = 2,1 \cdot 10^5$ МПа для сталі; $E_2 = 1,2 \cdot 10^5$ МПа для чавуну);

μ – коефіцієнт Пуассона ($\mu_1 = 0,46 - 0,49$ для гуми; $\mu_2 = 0,25 - 0,3$ для сталі; $\mu_2 = 0,23 - 0,27$ для чавуну);

k – коефіцієнт, який характеризує напружений стан та залежить від природи матеріалу (для крихких матеріалів $k = 5$, для високоеластичних матеріалів $k = 3$);

f – коефіцієнт тертя (без мастильного матеріалу для чавунних і сталевих поверхонь $f = 0,1 - 0,16$, для гуми – $f = 0,7 - 0,8$; в середовищі із мастильним матеріалом для чавунних і сталевих поверхонь $f = 0,01 - 0,016$, для гуми – $f = 0,48 - 0,52$);

σ_0 – екстрапольоване значення кривої втомленості для одноразового навантаження, яке близьке до міцності матеріалу на розтяг σ_B , кг/см²;

χ – коефіцієнт, який враховує розподіл амплітуд навантаження мікродільниць матеріалу поверхні, яка зношується (табл. А.1);

C_1, C_2, β – коефіцієнти, які зв'язані з параметрами шорсткості

$$C_1 = \frac{3\pi \cdot \sqrt{\nu}}{8K_2 \cdot (\nu + 1)}, \quad (9)$$

$$C_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{3\pi}{2K_2} \right)^{\frac{2\nu}{2\nu+1}} \cdot \left(\frac{r \cdot b^{\frac{1}{\nu}}}{h_{\max}} \right)^{\frac{\nu}{2\nu+1}}, \quad (10)$$

$$\beta = \frac{1}{2\nu + 1}, \quad (11)$$

де ν – показник кривої опорної поверхні;

K_2 – коефіцієнт (при $\nu = 3$ і $\mu = 0,3$ для гладких металевих поверхонь $K_2 = 0,12$).

Значення відповідних коефіцієнтів в якості довідкових даних подано у вигляді таблиць в додатку А (табл. А.2, табл. А.3, табл. А.4, табл. А.5) [2].

Якщо відомий контурний тиск p_c , тоді у формулах (7) і (8) замість $p_a^{1+\beta \cdot t}$ слід брати $p_a \cdot p_c^{\beta \cdot t}$.

Формули (7) і (8) можна використовувати, якщо виконуються умови:

а) контактні напруження повинні бути менші границі міцності матеріалу, тобто

$$\frac{k \cdot f \cdot p_c^\beta \cdot E^{1-\beta}}{C_2 \cdot (1-\mu^2)^{1-\beta} \cdot \sigma_0 \cdot \chi^{1/t}} \leq 1 \quad (12)$$

або

$$\frac{k \cdot f \cdot p_c^\beta}{C_2 \cdot (1-\mu^2)^{1-\beta} \cdot E_\beta \cdot \varepsilon_0 \cdot \chi^{1/t}} \leq 1; \quad (13)$$

б) контактні напруження повинні бути менші границі текучості матеріалу

$$\frac{k \cdot f}{C_2} \leq \frac{\sigma_T}{p_c^\beta} \cdot \left(\frac{1-\mu^2}{E} \right)^{1-\beta}. \quad (14)$$

Дослідження показали, що пружний контакт має місце при терті таких матеріалів, як гума, пластмаси, композиційні полімерні матеріали у м'яких умовах (невеликі температури і швидкість, наявність мастильного матеріалу). Для металів пружний контакт має місце для змашених і достатньо гладких поверхонь при температурі тертя 80–100 °С.

Спрощена формула для умов пластичного контакту (без урахування мікрорізання) має наступний вигляд [2]

$$I = \frac{1}{2(\nu+1)} \cdot \sqrt{\frac{\nu \cdot h_{\max}}{2r \cdot b^\nu}} \cdot \left(\frac{p_a}{HB} \right)^\gamma \cdot \left[\frac{1}{\varepsilon_0} \cdot \sqrt{\frac{2h_{\max}}{r \cdot b^\nu}} \cdot \frac{1+K \cdot f}{1-K \cdot f} \right]^t, \quad (15)$$

де ε_0 – критичне значення деформації при одноразовому навантаженні, яке близьке до значення відносного подовження δ при випробуваннях на розтяг;

$\gamma = 1 + \frac{t+1}{2\nu}$ – показник ступеня.

Якщо контурний тиск p_c відомий, тоді замість p_a^γ береться $p_a \cdot p_c^{\gamma-1}$. При $f > 0,05$ можна прийняти

$$\frac{1+K \cdot f}{1-K \cdot f} \approx \frac{2\sigma_T + f \cdot HB}{2\sigma_T - f \cdot HB},$$

а при $f < 0,05$

$$\frac{1+K \cdot f}{1-K \cdot f} \approx 1.$$

Формулу (15) можна використовувати, якщо виконуються умови:

а) перехід від пружних до пластичних деформацій

$$\frac{k \cdot f}{C_2} \geq \frac{\sigma_T}{p_c^\beta} \cdot \left(\frac{1-\mu^2}{E} \right)^{1-\beta}; \quad (16)$$

б) відсутність мікрорізання

$$\sqrt{\frac{2h_{\max}}{r \cdot b^\nu} \cdot \left(\frac{p_c}{HB} \right)^{\frac{1}{\nu}} \cdot \frac{1+K \cdot f}{1-K \cdot f}} \leq 1 - e^{-\varepsilon_0}. \quad (17)$$

Співвідношення (17) відповідає випадку, коли величина контактної пластичної деформації менша критичного руйнівного значення.

Пластичний контакт має місце у більшості випадків при терті без мастильного матеріалу, при використанні твердих мастильних матеріалів, при температурах вищих за 100 °С, при терті поверхонь грубіших за $R_a = 0,8$ мкм.

Наведені формули (7), (8), (15) при наявності обумовлених попередніх даних допускають відхилення від фактично отриманих на практиці значень зносу. В більшій кількості випадків розрахунки дають завищенні значення зносу, що є більш прийнятним при виконанні подібних розрахунків.

2 Приклади задач та порядок їх розв'язання

Задача 1. Під час проведення лабораторних випробувань циліндричних зразків (роликів) діаметром 40 мм, висотою $h=10$ мм втрата маси за 1 годину склала 60 мг. Частота обертання зразків 400 хв^{-1} . Визначити інтенсивність зношування зразків.

Порядок виконання

1. Визначимо шлях тертя, який проходить зразок за час випробування

$$L = \vartheta_3 \cdot \tau = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 40 \cdot 400}{1000} = 3014,4 \text{ м.}$$

2. Визначимо номінальну площу тертя

$$A_a = \pi \cdot d \cdot h = 3,14 \cdot 0,04 \cdot 0,01 = 0,0013 \text{ м}^2.$$

3. Використовуючи формулу (6), визначаємо інтенсивність зношування

$$I_g = \frac{g}{A_a \cdot L} = \frac{60}{0,0013 \cdot 3014,4} = 15,3 \text{ мг/м}^3.$$

Задача 2. Встановити, чи задовольняє вимогам елемента вузла тертя за критерієм його зносостійкості, якщо відомо, що швидкість зношування елемента дорівнює $0,002 \text{ мм/год}$. Допустимий ресурс вузла 2000 годин. Допустима величина зносу $[U]=6 \text{ мм}$.

Порядок виконання

1. Використовуючи формулу (1), знаходимо, що згідно з припущеним ресурсом величина зносу елемента складе

$$U = g_3 \cdot \tau = 0,002 \cdot 2000 = 4 \text{ мм.}$$

2. Виконуємо порівняння отриманої величини зносу з допустимою

$$U = 4 \text{ мм} \leq [U] = 6 \text{ мм.}$$

Отже, елемент вузла тертя за критерієм зносостійкості задовольняє вимогам.

Задача 3. Вузол тертя ковзання утворюють ущільнювальна гума і шліфувана сталевана поверхня. Температура на поверхні тертя при заданих умовах експлуатації та питомому навантаженні $P_a = 0,25 \text{ МПа}$ ($2,5 \text{ кг/см}^2$) становить 100°C . Визначити величину зносу ущільнювальної гуми на шляху тертя 100 км .

Порядок виконання

1. У довідковій літературі [1] знаходимо фізико-механічні властивості ущільнювальної гуми при температурі 100°C . Властивості гуми при температурі 100°C характеризуються такими даними: $E = 15 \text{ МПа}$ (150 кг/см^2); $\mu = 0,5$; $t = 4,85$; $\sigma_0 = 21,6 \text{ МПа}$ (216 кг/см^2); $f = 0,8$.

2. За табл. А.5 знаходимо параметри шорсткості шліфованої сталеваної поверхні (після приробки): $h_{\max} = 0,00072 \text{ мм}$; $r = 0,184 \text{ мм}$; $\nu = 3,0$; $b = 3,1$.

$$\frac{h_{\max}}{r \cdot b^{\frac{1}{\nu}}} = \frac{0,00072}{0,184 \cdot \sqrt[3]{3,1}} = 0,00268.$$

3. За табл. А.2 при $\nu = 3,0$ знаходимо $\beta = 0,14$; $\gamma = 1,5$; $C_1 = 0,74$ та відповідно за табл. А.3 при $\nu = 3,0$ і $\frac{h_{\max}}{r \cdot b^{\frac{1}{\nu}}} = 0,00268$ знаходимо $C_2 = 32,5$.

4. За табл. А.1 при $\nu=3,0$ і $t=4,85$ знаходимо значення параметра $\chi=1,21$.

5. Виконуємо перевірку правомірності застосування формули (7) за допомогою співвідношення (12)

$$\frac{k \cdot f \cdot p_c^\beta \cdot E^{1-\beta}}{C_2 \cdot (1-\mu^2)^{1-\beta} \cdot \sigma_0 \cdot \chi^{1/t}} \leq 1;$$

$$\frac{3 \cdot 1,3 \cdot 2,5^{0,14} \cdot 150^{1-0,14}}{32,5 \cdot (1-0,5^2)^{1-0,14} \cdot 216 \cdot 1,21^{1/4,85}} = 0,057 < 1.$$

6. За формулою (7) визначаємо інтенсивність зношування для випадку пружного контакту

$$I = \frac{C_1 \cdot p_a^{1+\beta \cdot t}}{\chi} \cdot \left(\frac{E}{1-\mu} \right)^{t-\beta \cdot t-1} \cdot \left(\frac{k \cdot f}{C_2 \cdot \sigma_0} \right)^t,$$

$$I = \frac{0,74 \cdot 2,5^{1+0,4 \cdot 4,85}}{1,21} \cdot \left(\frac{150}{1-0,5^2} \right)^{4,85-0,14 \cdot 4,85-1} \cdot \left(\frac{3 \cdot 1,3}{32,5 \cdot 216} \right)^{4,85} = 0,86 \cdot 10^{-8}.$$

7. Визначаємо знос ущільнювальної гуми на шляху тертя $L=100 \text{ км} = 10^8 \text{ мм}$

$$U = I \cdot L = 0,86 \cdot 10^{-8} \cdot 10^8 = 0,86 \text{ мм}.$$

Задача 4. Поверхні тертя фрикційних елементів дискових гальм виготовлено з чавуну СЧ20 і шліфованої сталі 45Х. Після приробки температура тертя (визначалась термопарою) в чавунному елементі при номінальному тиску $P_a=1,3 \text{ МПа}$ (13 кг/см^2) становить $200 \text{ }^\circ\text{C}$, коефіцієнт тертя в цих умовах $f=0,17-0,20$. Необхідно встановити величину зносу чавунного елемента, якщо шлях тертя $L=300 \text{ м}$.

Порядок виконання

1. У довідковій літературі [1] знаходимо фізико-механічні властивості чавуна СЧ20 при температурі $200 \text{ }^\circ\text{C}$, які

характеризуються такими даними: $E=10^5$ МПа (10^6 кг/см²); $\mu=0,22$; $\varepsilon_0=0,03$; $HB=200$ МПа; $\sigma_T=25$ МПа.

2. За табл. А.5 знаходимо параметри шорсткості (контртіла) шліфованої сталеві поверхні: $h_{\max}=0,0012$ мм; $r=0,55$ мм; $\nu=2,0$; $b=2,0$.

3. Визначаємо величину співвідношення

$$\frac{h_{\max}}{r \cdot b^{\frac{1}{\nu}}} = \frac{0,00012}{0,55 \cdot \sqrt{2}} = 0,0015.$$

4. За табл. А.2 при $\nu=2,0$ знаходимо $\beta=0,2$; $\gamma=1,8$; за табл. А.3 знаходимо $C_2=24,7$ та відповідно за табл. А.4 знаходимо $C_2=3,1 \cdot 10^{-5}$.

5. Виконуємо перевірку правомірності застосування формули (15) за допомогою співвідношень (16) і (17).

$$\frac{5 \cdot 0,2}{24,7} > \frac{25}{0,13^{0,2}} \left(\frac{1-0,22^2}{10^6} \right)^{1-0,2};$$

$$\sqrt{2 \cdot 0,0015 \cdot \left(\frac{0,13}{200} \right)^{1/2} \cdot \frac{2 \cdot 25 + 0,2 \cdot 200}{2 \cdot 25 - 0,2 \cdot 200}} < 1 - e^{-0,03}.$$

6. За формулою (15) визначаємо інтенсивність зношування для випадку пластичного контакту

$$I = \frac{3,1 \cdot 10^{-5}}{0,03^2} \cdot \left(\frac{0,13}{200} \right)^{1,8} \cdot \frac{2 \cdot 25 + 0,2 \cdot 200}{2 \cdot 25 - 0,2 \cdot 200} = 7,7 \cdot 10^{-7}.$$

7. Визначаємо знос чавунного елемента

$$U = I \cdot L = 7,7 \cdot 10^{-7} \cdot 3 \cdot 10^5 = 0,23 \text{ мм.}$$

Заяпитання для самоконтролю

1. Поняття зносу, зношування, зносостійкості та інтенсивності зношування.

2. Номінальна, контурна та фактична площі контакту.
3. Фрикційний контакт і види фрикційних зв'язків.

Практична робота №2 (9 годин) ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМІНІВ СЛУЖБИ І ГРАНИЧНИХ ЗНОСІВ ДЕТАЛЕЙ

Мета роботи – визначення терміну служби і граничного зносу деталей автотранспортних засобів в залежності від характеру протікання процесу зношування.

1 Короткі теоретичні відомості

Розрахунок основних параметрів зношеного з'єднання дає можливість поставити задачу про визначення терміну служби деталей, які входять до з'єднання.

Для визначення термінів служби деталі (T) необхідно знати характер протікання процесу зношування деталі у часі і дозволена максимальну величину зносу (U_{\max}).

1.1 Термін служби деталі

Термін служби (роботи) деталі визначають як [3]

$$T = \frac{U_{\max}}{g_3}, \quad (1)$$

де g_3 – швидкість зношування.

Максимальний знос U_{\max} деталей необхідно вибирати виходячи не тільки з умов нормальної роботи даного з'єднання, але й враховуючи вплив цього зносу на роботу механізму і АТЗ в цілому.

Для деталей, які ремонтуються під час поточних ремонтів, допустимі зноси $U_{\text{доп}}$ будуть меншими або дорівнюватимуть граничним U_{\max} , так як деталь не повинна виходити з ладу протягом всього наступного міжремонтного періоду.

1.2 Допустимий знос

Допустимий знос $U_{\text{доп}}$, починаючи з якого під час поточних ремонтів треба ремонтувати деталь, визначають як [3]

$$U_{\text{доп}} = U_{\text{max}} - g_3 \cdot T_1, \quad (2)$$

де T_1 - час між двома плановими ремонтами (міжремонтний період).
Враховуючи залежність (1) отримаємо

$$U_{\text{доп}} = U_{\text{max}} - \frac{U_{\text{доп}} \cdot T_1}{T}. \quad (3)$$

Тоді

$$U_{\text{доп}} = \frac{U_{\text{max}}}{1 + \frac{T_1}{T}}. \quad (4)$$

Якщо k – даний періодичний ремонт з моменту останнього ремонту деталі, тоді час роботи деталі буде $T = k \cdot T_1$ і формула для визначення допустимого зносу прийме вигляд

$$U_{\text{доп}} = U_{\text{max}} \cdot \frac{k}{1 + k}. \quad (5)$$

1.3 Дійсний термін служби деталі

Дійсний термін служби деталі визначається як

$$T_{\text{Д}} = \frac{U_{\text{доп}}}{g_3} = \frac{U_{\text{max}}}{v_3} \cdot \frac{k}{1 + k}. \quad (6)$$

АТЗ вважається абсолютно рівностійким, якщо ресурс $T_{\text{Д}}$ всіх її складових елементів дорівнює встановленому для них терміну служби $T_{\text{М}}$.

Для узагальненої кількісної оцінки рівностійкості АТЗ доцільно використовувати індекс рівностійкості.

1.4 Індекс рівностійкості АТЗ

Індекс рівностійкості АТЗ визначається за формулою [3]

$$I_p = \frac{C_M}{C_M + D_p}, \quad (7)$$

де C_M – вартість АТЗ;

D_p – дефіцит ресурсу.

Дефіцит ресурсу оцінюється сумарною вартістю деталей, які потрібні в якості запасних частин для забезпечення працездатності АТЗ протягом всього терміну служби до списання.

1.5 Загальний дефіцит ресурсу АТЗ

Загальний дефіцит ресурсу АТЗ визначається як [3]

$$D_p = \sum_{i=1}^z C_D \cdot d \cdot \left(\frac{T_{MH}}{T_D} - 1 \right), \quad (8)$$

де C_D – вартість однієї деталі даного найменування;

d – кількість однакових деталей в АТЗ;

T_{MH} – нормативний термін служби АТЗ до списання;

T_D – загальна кількість ненадійних і недовговічних деталей в АТЗ.

Індекс рівностікості в загальному вигляді з урахуванням (8)

$$I_p = \frac{C_M}{C_M + \sum_{i=1}^z C_D \cdot d \cdot \left(\frac{T_{MH}}{T_D} - 1 \right)}. \quad (9)$$

1.6 Кількість запасних частин для кожного найменування деталей на весь термін служби АТЗ [3]

$$N_3 = d \cdot \left(\frac{T_{MH}}{T_D} - 1 \right). \quad (10)$$

2 Приклади задач та порядок їх вирішення

Задача 1. Відомо, що деталь має глибину цементованого шару 0,8 мм, а граничний знос U_{max} становить 0,65 мм (80 % від глибини

шару). Встановити, чи є потреба ремонтувати деталь, якщо під час її обмірювання під час третього періодичного ремонту знос становив 0,55 мм?

Порядок виконання

1. Визначимо $U_{\text{доп}}$ за формулою (5)

$$U_{\text{доп}} = U_{\text{max}} \cdot \frac{k}{1+k} = 0,65 \cdot \frac{3}{3+1} = 0,49 \text{ мм.}$$

2. Порівняємо зноси граничний і фактичний

$$U_{\text{max}} \geq U_{\text{доп}}.$$

Отже, деталь потрібно ремонтувати.

Задача 2. За умов функціонування виробу визначено максимальний знос $U_{\text{max}}=10$ мкм. З випробувань зразків при середніх режимах експлуатації звісно, що за 100 годин роботи середній знос становив 2 мкм. Визначити середній термін служби виробу.

Порядок виконання

1. Середня швидкість зношування визначається як

$$v_3 = \frac{U_{\text{max}}}{\tau} = \frac{2}{100} = 0,02 \text{ мкм/год.}$$

2. Середній термін служби виробу визначаємо за формулою (1)

$$T = \frac{U_{\text{max}}}{v_3} = \frac{10}{0,02} = 500 \text{ год.}$$

Задача 3. На підприємстві експлуатуються два АТЗ одного класу різних марок. Відомо, що вони мають однаковий термін служби $T_1 = T_2 = 12$ років. Вартість машин, відповідно, 60000 грн. і 67000 грн. Дефіцит ресурсу першого АТЗ складає 24000 грн., а

другого АТЗ – 21000 грн. Яку з цих машин слід вважати більш довговічною?

Порядок виконання

1. За формулою (7) визначимо індекс рівностікості для першого АТЗ

$$I_{p1} = \frac{C_M}{C_M + D_p} = \frac{60000}{60000 + 24000} = 0,71.$$

2. За формулою (7) визначимо індекс рівностікості для другого АТЗ

$$I_{p2} = \frac{C_M}{C_M + D_p} = \frac{67000}{67000 + 21000} = 0,76.$$

Отже, $I_{p1} \leq I_{p2}$, таким чином, більш довговічною треба вважати другий АТЗ.

Задача 4. Визначити індекс рівностікості АТЗ, якщо вартість нового АТЗ 25000 грн., а дефіцит ресурсу становить 11500 грн.

Порядок виконання

1. Індекс рівностікості визначимо за формулою (7)

$$I_p = \frac{C_M}{C_M + D_p} = \frac{25000}{25000 + 11500} = 0,68.$$

Задача 5. Визначити потрібну кількість запасних частин даного найменування на весь термін служби АТЗ, якщо нормативний термін служби АТЗ становить 10 років, термін служби деталі 1,5 роки. Кількість однакових деталей даного найменування для одного АТЗ становить 2 шт.

Порядок виконання

1. Потрібну кількість запасних частин визначимо за формулою (10)

$$N_3 = d \cdot \left(\frac{T_{\text{МН}}}{T_{\text{д}}} - 1 \right) = 2 \cdot \left(\frac{10}{15} - 1 \right) = 12 \text{ шт.}$$

Запитання для самоконтролю

1. Поняття допустимого і граничного зносу.
2. Індекс рівностійкості та діаграма рівностійкості.
3. Дефіцит ресурсу і його визначення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Тененбаум М.М. Сопротивление абразивного изнашивания / Тененбаум М.М. – М.: Машиностроение, 1976. – 271 с.
2. Расчетные методы оценки трения и износа: [Сб. науч. трудов]. – Брянск, 1975. – 233 с.
3. Войтов В.А. Принципы конструктивной стойкости узлов трения гидромашин против срабатывания: [Монография] / В.А. Войтов, О.М. Яхно, Аби Сааб Ф.Х. – Киев, 1999. – 192 с.

Додаток А Вихідні дані

Таблиця А.1 – Значення коефіцієнта χ
(для розрахунку зносу в разі пружного контакту)

Параметр t	Показник кривої опорної поверхні, ν					
	1	2	3	4	5	6
2	1,00	1,28	1,41	1,49	1,53	1,57
3	1,00	1,28	1,41	1,49	1,53	1,57
4	1,00	1,21	1,33	1,38	1,41	1,44
5	1,00	1,15	1,19	1,21	1,23	1,23
6	1,00	1,05	1,04	1,03	1,01	1,00
7	1,00	0,96	0,88	0,84	0,81	0,78
8	1,00	0,84	0,73	0,67	0,62	0,59
9	1,00	0,74	0,60	0,52	0,47	0,43
10	1,00	0,64	0,48	0,40	0,37	0,33
12	1,00	0,48	0,30	0,20	0,16	0,148
14	1,00	0,35	0,18	0,12	0,088	0,066
16	1,00	0,25	0,11	0,066	0,043	0,028

Таблиця А.2 – Значення коефіцієнтів β , γ , C_1

Значення коефіцієнта	Показник кривої опорної поверхні, ν									
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0
β	0,33	0,25	0,20	0,17	0,14	0,12	0,11	0,10	0,091	0,077
γ	2,5	2,0	1,8	1,6	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	1,2
C_1	0,59	0,65	0,69	0,72	0,74	0,76	0,77	0,78	0,79	0,81

Таблиця А.3 – Значення коефіцієнта C_2 (для чавунних деталей)

$\frac{h_{\max}}{r \cdot b^{\frac{1}{\nu}}}$	Показник кривої опорної поверхні, ν									
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0
0,0001	30,4	55,5	3,6	110	137	160	187	211	234	272
0,0002	24,0	42,9	63,1	82,2	102	120	137	155	171	196
0,0005	17,7	30,7	43,4	55,9	68,9	79,7	90,7	102	112	129
0,0010	14,0	23,5	32,8	41,7	50,6	58,5	66,0	73,9	81,2	93,4
0,0020	11,2	18,1	24,8	31,2	37,6	43,2	48,6	53,6	59,1	67,8
0,0050	8,23	12,8	17,2	21,3	25,3	29,0	32,4	35,6	39,0	44,3
0,0200	5,16	7,59	9,83	12,0	14,0	15,8	17,5	19,1	20,8	23,5
0,0500	3,82	5,39	6,87	8,19	9,42	10,6	11,8	12,7	13,7	15,4
0,1000	3,04	4,16	5,18	6,12	7,02	7,83	8,56	9,28	10,0	11,2
0,2000	2,40	3,20	3,94	4,60	5,20	5,76	6,29	6,81	7,28	8,18

Таблиця А.4 – Значення коефіцієнта C_2 (для сталевих деталей)

$\frac{h_{\max}}{r \cdot b^{\frac{1}{\nu}}}$	Показник кривої опорної поверхні, ν				
	1	2	3	4	5
0,001	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$0,93 \cdot 10^{-5}$	$0,8 \cdot 10^{-5}$
0,002	$3,3 \cdot 10^{-5}$	$3,1 \cdot 10^{-5}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$
0,005	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$0,93 \cdot 10^{-4}$
0,010	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$
0,020	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$0,98 \cdot 10^{-3}$	$0,87 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$	$0,75 \cdot 10^{-3}$
0,050	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$3,7 \cdot 10^{-3}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$
0,100	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$0,97 \cdot 10^{-2}$	$0,89 \cdot 10^{-2}$	$0,83 \cdot 10^{-2}$

Таблиця А.5 – Значення коефіцієнтів ν , r , h_{\max}

Спосіб механічної обробки (тип пари тертя)	ν	b	Шорсткість Rz , мкм	r , мкм	h_{\max} , мкм	$\frac{h_{\max}}{r \cdot b^{\frac{1}{\nu}}}$
Обточування (сталь)	1,6–2,1	1,0–2,0	20,0–12,5	14	10–20	0,5–1,4
			10,0–8,0	20	6,3–10	0,2–0,6
			6,3–4,0	35	3,2–6,3	0,07–0,2
Циліндричне фрезерування (сталь)	2,2–2,8	1,2–1,6	40,0–25,0	21	20–40	0,8–1,8
			20,0–12,5	30	10–20	0,3–0,6
			10,0–8,0	45	6,3–10	0,1–0,2
			6,3–4,0	77	3,2–6,3	0,03–0,08
Плоске шліфування (сталь)	1,6–2,2	0,6–2,3	10,0–8,0	95	6,3–10	0,04–0,15
			6,3–4,0	180	3,2–6,3	0,02–0,05
			3,2–2,0	360	1,6–3,2	0,003–0,01
			1,6–1,0	550	0,8–1,6	0,001–0,004
Внутрішнє шліфування (сталь)	1,8–2,0	0,6–1,4	10,0–8,0	5	6,3–10	1,0–2,5
			6,3–4,0	8	3,2–6,3	0,3–1,0
			3,2–2,0	13	1,6–3,2	0,1–0,3
			1,6–1,0	19	0,8–1,6	0,4–0,1
Зовнішнє циліндричне шліфування (сталь)	1,8–2,0	0,6–2,0	6,3–4,0	8	3,2–6,3	0,3–1,0
			3,2–2,0	12	1,6–3,2	0,1–0,3
			1,6–1,0	19	0,8–1,6	0,03–0,1
Полірування (сталь)	1,5–1,7	2,0–3,5	1,6–1,0	460	0,8–1,6	0,0008–0,002
			0,8–0,5	670	0,4–0,8	0,0003–0,0008
Шліфована сталева поверхня після приробки в парі з ущільнювальною гумою	3,0	3,1	9	184	0,72	0,0027

Навчальне видання

Методичні вказівки
до практичних робіт з дисципліни
«Основи теорії тертя та зношування»
для студентів спеціальності 6.010104

Упорядники:

ЦИБУЛЬСЬКИЙ Вадим Анатолійович
НАЗАРОВ Олександр Іванович
ТИМЧЕНКО Олексій Ігорович
НАЗАРОВ Іван Олександрович

Відповідальний за випуск Подригало М.А.

Редактор

Підписано до друку Формат 60x84 1/16. Папір тип. №
Відруковано на ризографі Умовн.друк.арк 1,0 Обл.вид.арк. 1,2
Замовлення № Тираж 50

Адреса редакції видавця та поліграфпідприємства
ХНАДУ, 61002, Харків, вул.Петровського,25

Відруковано видавництвом Харківського національного
автомобільно-дорожнього університету