

**Кузьменко А.Г.,
Яріш Ю.В.**

Хмельницький національний університет,
м. Хмельницький, Україна
E-mail: tribosenator@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ НА ФРЕТТИНГ - ЗНОС ПО СХЕМІ СТИСНЕНИХ ПЛОСКИХ КОНСОЛЬНИХ ПЛАСТИН

УДК 621.891

Дослідження проведені з метою поглибленого вивчення явища фреттингу стосовно листових ресор автомобіля. Для цього розроблена теоретична модель зношування вибраного вузла, яка базується на методі випробувань на фреттинг-знос за схемою згину двошарових консольних пластин без змащування та з використанням суміші Літол-24 з бронзовим порошком. Встановлено підвищення фреттингостійкості з використанням змащування.

Ключові слова: фреттинг-знос, контакт, знос, консольні пластини, пляма контакту, модель зносу.

Вступ

На сьогодні більшість вузлів тертя працюють в умовах дії вібрацій. При мінімальних повторюваних локальних переміщеннях двох поверхонь одна відносно одної в умовах корозійного середовища виникає фреттинг-знос.

Фреттинг-знос при високих частотах переміщень і малих амплітудах досить суттєво руйнує поверхневі шари контактуючих поверхонь, зменшуючи ресурс зношуваних деталей та вузлів в цілому. Тому розробка методів досліджень поверхонь на фреттинг-корозію актуальна на даний час для зменшення її дії та підвищення зносостійкості листових ресор.

Мета і постановка задачі

Метою даної роботи є розробка і застосування методів випробувань на фреттинг-знос та підвищення зносостійкості контактуючих поверхонь листових ресор автомобіля.

Для досягнення поставленої мети потрібно виявити та описати виникнення фреттинг-зносу, розробити математичну модель процесу тертя двох поверхонь з урахуванням частоти та амплітуди переміщень вібраційного стола та досліджуваних деталей, визначити шлях тертя досліджуваних деталей.

Виклад матеріалів досліджень

Теорія експерименту

Схема та механіка контакту

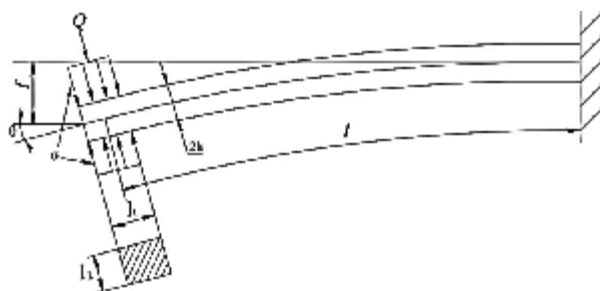


Рис. 1 – Схема контакту двох консолей, стиснених на кінці силою Q , тиском σ на площі $F = l_1 l_2$

Переміщення проковзування в контакті S_k :

$$S_k = 2\theta h, \quad (1)$$

де θ – кут повороту перерізу;

h – товщина консольної балки.

Для консолі відомі співвідношення:

$$f = \frac{Pl^3}{3EI}; \quad (2)$$

$$\theta = \frac{Pl^2}{2EI}; \quad (3)$$

$$\frac{(2)}{(3)} \rightarrow \frac{f}{Q} = \frac{Pl^3}{3EI} \cdot \frac{Pl^2}{2EI} = \frac{2l}{3}; \quad (4)$$

$$(4) \rightarrow (2) \rightarrow \theta = \frac{3f}{2l}; \quad (5)$$

$$(5) \rightarrow (1) \rightarrow S_k = \frac{3f}{2l} 2h; \quad (6)$$

шлях тертя за час t : $S(t) = S_k nt$.

Вимірювання

У процесі досліджень площина-площина утворюється пляма контакту як на поверхні 1, так і на поверхні 2; у першому наближенні відповідно до еліпса (рис. 2) з розмірами та максимальною глибиною h . Величини $2a$, $2b$ вимірюються з точністю до 10 мкм, величина h вимірюється з точністю до 1 мкм; аналогічним чином вимірюються розміри плями зношування на другій поверхні.

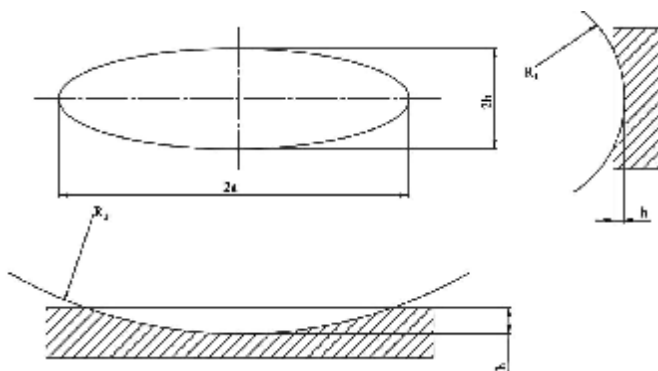


Рис. 2 – Схема вимірювань плями зношування

Припущення

Вважаємо, що плями контакту утворені взаємодією двох тіл подвійної кривизни; іншими словами припускаємо, що поверхня плями зносу описується поверхнею подвійної кривизни.

Радіуси поверхонь (рис. 3)

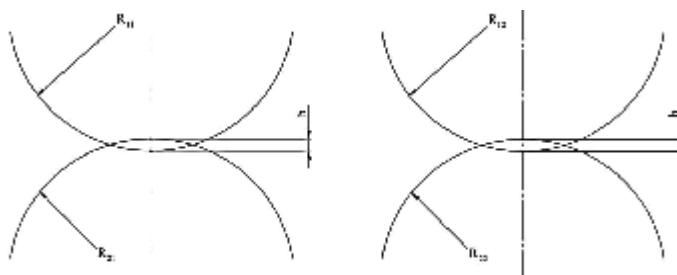


Рис. 3 – Схема контакту тіл подвійної кривизни

Розрахункові залежності: з врахуванням припущення з рисунка 2 можна записати:

$$R_1 = \frac{b^2}{2h}; \quad R_2 = \frac{a^2}{2h}; \quad (7)$$

$$R_* = (R_1 \cdot R_2)^{1/2} = \left(\frac{a^2 b^2}{4h^2} \right)^{1/2} = \frac{ab}{2h}; \quad (8)$$

$$R_* = \frac{ab}{2h} = \frac{a_*^2}{2h}. \quad (9)$$

Визначення параметрів моделі зносу:

1) за результатами вимірювань розмірів площадки контакту (зношування) $2a$ і $2b$ визначається приведений радіус кругової площадки:

$$a_* = (ab)^{1/2}; \quad (10)$$

2) за таблицями і графіками $a_*(S)$ вибираються базові точки $(a_*)_1, S_1; (a_*)_2, S_2$ для визначення параметрів апроксимації степеневі функції:

$$a_* = cs^\beta; \quad (11)$$

3) за залежностями:

$$\beta = \frac{\log((a_*)_1/(a_*)_2)}{\log(S_1/S_2)}; \quad (12)$$

$$c = (a_*)_1/S_1^\beta; \quad (13)$$

4) параметри m, K_w визначаються за формулами:

$$m = (1 - 2\beta)/2\beta; \quad (14)$$

$$K_w = \frac{c^{2m+2}}{(2m+2)(Q/\pi)^m R_*}. \quad (15)$$

Порівняння фреттингостійкості різних варіантів пар тертя:

1) порівняння за глибиною зношування h :

$$\varepsilon = h_1/h_2; \quad (16)$$

2) порівняння за площею плями зношування:

$$\varepsilon = \frac{\pi a_{*I}^2}{\pi a_{*II}^2}; \quad (17)$$

3) порівняння за зношуванням, обчисленим за параметрами моделі зношування:

$$\varepsilon = \frac{u_{w_1}}{u_{w_2}} = \frac{K_{w_1} \sigma^{m_1} S_1}{K_{w_2} \sigma^{m_2} S_2}; \quad (18)$$

або

$$\varepsilon = \frac{K_{w_1}}{K_{w_2}} \cdot \sigma^{m_1 - m_2}. \quad (19)$$

Техніка експерименту

Установка для досліджень включає робочу частину зі зразками у вигляді двох плоских консольних пластин, притиснених у кінці заданою силою Q і механічний вібратор.

Порядок досліджень: 1) задати вихідні дані: навантаження Q , площа контакту F , частота вібрацій n і спосіб змашування; 2) під час досліджень періодично вимірювати розміри плями зношування та глибину зношування.

Порядок обробки результатів вимірювань ведеться відповідно до методики, описаної раніше.

Реалізація експерименту

Установка УМ-9

Вихідні дані установки УМ-9: сила стискання пластин: $Q = 65$ кг; розміри та площа стиснених плоских поверхонь на кінці консолей: $l_1 = 19,5$ мм; $l_2 = 29,5$ мм; $F = l_1 l_2 = 575,25$ мм²; тиск в контактї:

$$\sigma = \frac{Q}{F}; \quad (20)$$

товщина пластини (балки): $h = 1,2$ мм; амплітуда переміщень консолей: $f = 2,7$; розмір консолі: $l = 177,5$ мм.

Шлях тертя ковзання в плоскому контактї:

- проковзування за один цикл за формулою (6):

$$S_k = \frac{3fh}{l} = \frac{3 \cdot 2,7 \cdot 3,3}{177,5} = 0,15 \text{ мм};$$

- проковзування за час $t = 60$ хв:

$$S(60) = S_k n t = 0,15 \cdot 1000 \cdot 60 = 0,9 \cdot 10^3 \text{ мм}.$$

Результати досліджень представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати досліджень зі змащуванням та без нього								
Без змащування								
№ п/п	t , хв	$S \cdot 10^3$, мм	$2a$, мм	a , мм	$2b$, мм	b , мм	h , мкм	a_* , мм
1	60	0,9	3,5	1,75	1,1	0,55	6	0,9
2	120	1,8	5,6	2,8	1,2	0,6	8	1,3
3	180	2,7	5,8	2,9	1,4	0,7	9	1,4
4	240	3,6	5,9	2,95	1,5	0,75	11	2,2
5	300	4,5	7,1	3,55	1,9	0,95	14	3,3
Зі змащуванням (Літол-24 + бронзовий порошок)								
№ п/п	t , хв	$S \cdot 10^3$, мм	$2a$, мм	a , мм	$2b$, мм	b , мм	h , мкм	a_* , мм
1	60	0,9	2,2	1,1	0,5	0,25	5	0,52
2	120	1,8	3,2	1,6	0,9	0,45	8	0,85
3	180	2,7	3,5	1,75	1,1	0,55	9	0,96
4	240	3,6	3,7	1,85	1,3	0,65	10	1,2
5	300	4,5	4,0	2,0	1,6	0,8	11	1,26

Визначення параметрів моделі зношування (дослід без змащування):

1) базові точки:

$$a_1 = 0,9 \text{ мм}; S_1 = 0,9 \cdot 10^3 \text{ мм}; a_2 = 2,2 \text{ мм}; S_2 = 4,5 \cdot 10^3 \text{ мм};$$

2) параметри β , c :

$$\beta = \frac{\log(a_1/a_2)}{\log(S_1/S_2)} = \frac{\log(0,9/2,2)}{\log(0,9 \cdot 10^3/4,5 \cdot 10^3)} = \frac{0,34}{0,7} = 0,48; c = \frac{a_1}{S_1^\beta} = \frac{0,9}{(0,9 \cdot 10^3)^{0,48}} = 0,033;$$

3) параметри m , K_w :

$$m = \frac{1-2\beta}{2\beta} = \frac{1-2 \cdot 0,48}{2 \cdot 0,48} = 0,042;$$

$$K_w = \frac{c^{2m+2}}{(2m+2)(Q/\pi)^m R_*} = \frac{0,033^{2,084}}{2,084 \left(\frac{65}{3,14} \right)^{0,042}} = 5,7 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^2/\text{кг};$$

4) приведений радіус:

$$R_* = \frac{a^2}{2h} = \frac{1,2^2}{2 \cdot 10 \cdot 10^{-3}} = 50 \text{ мм}.$$

Визначення параметрів моделі зношування (дослід із мастилом Літол-24 і бронзовим порошком)

1) базові точки:

$$a_1 = 0,6 \text{ мм}; S_1 = 0,9 \cdot 10^3 \text{ мм}; a_2 = 1,3 \text{ мм}; S_2 = 4,5 \cdot 10^3 \text{ мм};$$

2) параметри β , c :

$$\beta = \frac{\log(a_1/a_2)}{\log(S_1/S_2)} = \frac{\log(0,6/1,3)}{\log(0,9 \cdot 10^3/4,5 \cdot 10^3)} = \frac{0,33}{0,7} = 0,47; c = \frac{a_1}{S_1^\beta} = \frac{0,6}{(0,9 \cdot 10^3)^{0,47}} = 0,025;$$

3) параметри m , K_w :

$$m = \frac{1-2\beta}{2\beta} = \frac{1-2 \cdot 0,47}{2 \cdot 0,47} = 0,064;$$

$$K_w = \frac{c^{2m+2}}{(2m+2)(Q/\pi)^m R_*} = \frac{0,025^{2,128}}{2,084 \left(\frac{65}{3,14} \right)^{0,064}} = 3,19 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^2/\text{кг}.$$

Порівняння фреттингостійкості пар тертя: без змащування; з мастилом Літол-24 + бронзовий порошок.

База і умови порівняння по схемі площина-площина: тиск: $\sigma = 0,113 \text{ кг/мм}^2$; частота: $n = 1000 \text{ об/хв}$; амплітуда ковзання: $S_k = 0,15 \text{ мм}$; загальна тривалість досліджень: 5 год.

Порівняння по глибині плями зношування: без змащування $h = 14 \text{ мкм}$; зі змащуванням $h = 11 \text{ мкм}$; коефіцієнт зниження зношування ε :

$$\varepsilon = h(\delta/zM)/h(zM) = 14/11 = 1,27,$$

тобто змащування знижує зношування в 1,27 раз.

Порівняння по площі плями зношування:

1) площа плями зношування без змащування:

$$F(\delta/zM) = \pi \cdot 3,37^2 = 35,7 \text{ мм}^2;$$

2) площа плями при наявності мастила:

$$F(zM) = \pi \cdot 1,26^2 = 5 \text{ мм}^2;$$

3) коефіцієнт зниження зношування ε :

$$\varepsilon = F(\delta/zM)/F(zM) = 35,7/5 = 7,14 \text{ раз.}$$

Порівняння з допомогою параметрів моделі зношування:

1) формул порівняння (19):

$$\varepsilon = \frac{u_{w_1}}{u_{w_2}} = \frac{K_{w_1}}{K_{w_2}} \cdot \sigma^{m_1 - m_2};$$

2) дані для обчислень при:

$$K_{w_1}(zM) = 5,7 \cdot 10^{-6}; m_1(\delta/zM) = m_1 = 0,042;$$

$$K_{w_2}(zM) = 3,19 \cdot 10^{-6}; m_2(zM) = m_2 = 0,064; \sigma = 0,113 \text{ кг/мм}^2;$$

3) обчислення:

$$\varepsilon = \frac{5,7 \cdot 10^{-6}}{3,19 \cdot 10^{-6}} (0,113)^{(0,042 - 0,064)} = 1,97,$$

тобто зниження фреттинг-знос за рахунок змащування по цьому способу оцінюється в 1,97 раз.

Підсумкова таблиця оцінки ефективності мастила Літол-24 з бронзовим порошком.

Таблиця 2

Оцінка ефективності мастила Літол-24 з бронзовим порошком

№ п/п	Спосіб порівняння	Коефіцієнт зниження зносу
1	за глибиною h	1,27
2	за площею F	7,0
3	за моделлю зносу	1,97

Висновки

Запропоновані варіанти методик досліджень на фреттинг-знос за схемою «площина-площина» при стисненні двох консольних пластин:

- 1) порівняння за глибиною зносу в зоні площадки зносу;
- 2) порівняння за величиною площадки фреттинг-зносу;
- 3) порівняння за моделлю зносу як поверхонь подвійної кривизни;
- 4) найбільш проста та достовірна методика порівнянь за глибиною;

Встановлене зменшення зношування контактуючих поверхонь при використанні суміші змащувальної рідини Літол-24 з бронзовим порошком (табл. 2).

Література

1. Фесик С.П. Справочник по сопротивлению материалов. – К.: Будивельник, 1979. – 308 с.
2. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов. – К.: Наукова думка, 1988. – 736 с.
3. Кузьменко А.Г. Прикладная теория методов испытаний на износ. – Хмельницкий: ХНУ. – 579 с.

Поступила в редакцію 18.06.2013

Kuzmenko A.G., Yarish Yu.V. **Study on fretting wear under the scheme compressed flat plates console.**

Today most friction units operating under conditions of vibration. With minimal local repetitive movements of the two surfaces relative to each other in a corrosive environment there fretting wear. Fretting wear at high frequencies and small amplitudes of motion quite significantly destroys the superficial layers of the contacting surfaces, reducing life wearing parts and components in general. Therefore, the development of methods to study surfaces fretting corrosion is relevant at this time to reduce its performance and increase durability leaf springs.

Key words: fretting wear, contact, wear, console inserts, dropwise contact, model installment.

References

1. Fesik S.P. Spravochnik po soprotivleniyu materialov. K: Budivelnik, 1979. 308 s.
2. Pisarenko G.S. Spravochnik po soprotivleniyu materialov. K.: Naukova dumka, 1988. 736 s.
3. Kuzmenko A.G. Prikladnaya teoriya metodov ispytaniy na iznos. Khmel'nitskiy: KHNU. 579 s.