

Диха О.В.,
Вельбой В.П.,
Диха М.О.

Хмельницький національний університет,
м. Хмельницький, Україна

ТЕОРІЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТ МЕТОДУ ТРИБОЛОГІЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ ЗА СХЕМОЮ «ЦИЛІНДР-КУЛЯ»

Вступ

Випробування на зношування можуть виконуватися з різними цілями, зокрема: якісне порівняння матеріалів зі зношування; вивчення механізму і виду зношування; визначення параметрів моделей, що описують кількісні закономірності процесу.

На думку багатьох відомих фахівців [1], оцінка властивостей конструкційних і мастильних матеріалів є однією з найбільш складних проблем у сучасній трибології. Експериментальні дослідження проводять на машинах тертя найрізноманітніших типів (понад сотню і навіть до тисячі найменувань). Розв'язанню задачі порівняння та уніфікації використовуваних у світовій практиці випробувань матеріалів на тертя і зношування присвячені спеціальні міжнародні дослідницькі програми [1].

При випробуваннях на износ матеріалів підшипників ковзання виникають складності при виготовленні зразків. При цьому зручним є використання схеми випробувань «сфера-циліндр», коли циліндр виготовлений з матеріалу валу підшипника, а як контрольний зразок використовується підшипникова кулька зі сталі ШХ15 для порівняльних випробувань ефективності технологій зміцнення поверхні валів. В даній роботі для двохфакторної моделі зношування (контактний тиск – швидкість ковзання) розроблена теоретична методика визначення характеристик зношування за результатами експериментальних випробувань по схемі «циліндр-куля» та для реалізації вказаного методу випробувань представлена конструкція випробувальної установки.

Основний матеріал

Геометрія контакту и навантаження

Розглянемо контакт жорсткої кульки та жорсткого циліндру під дією навантаження Q , при цьому будемо вважати, що зношується тільки циліндр, а сфера (куля) не зношується. Як припущення приймемо, що форма жолоба на циліндрі після зношування циліндрична, а форма площадки контакту сфери та циліндру внаслідок малості зносу приймається коловою (рис. 1).

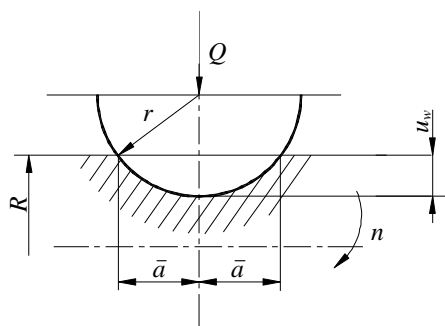


Рис. 1 – Розрахункова схема

В даному випадку жорсткість кулі і циліндру розуміється в тому сенсі, що переміщення від зносу значно більші деформацій від пружних переміщень, тобто пружні деформації не враховуються при аналізі процесу зношування. Разом з цим присутність пружних деформацій така, що геометрично можна вважати площадку контакту коловою [2].

Шляхи тертя для площадок контакту

Шляхи тертя для площадок контакту циліндра S та S_1 кульки різні. Шлях тертя для кульки контакту S_1 дорівнює:

$$S_1 = 2\pi Rnt, \quad (1)$$

де n – кількість обертів циліндра за одиницю часу;

t – тривалість випробувань.

Шлях тертя S для площадки контакту циліндра:

$$S = 2\bar{a}nt, \quad (2)$$

де $2\bar{a}$ – середній шлях тертя за один прохід контактних точок кульки через площадку контакту з циліндром;

\bar{a} – середній радіус площадки контакту циліндра і кульки.

Відношення шляхів тертя верхньої і нижніх площадок є коефіцієнтом перекриття:

$$K_n = \frac{S}{S_1} = \frac{2\bar{a}nt}{2\pi Rnt} = \frac{\bar{a}(S_1)}{\pi R}. \quad (3)$$

Таким чином, маємо взаємозв'язок середніх шляхів тертя:

$$S = S_1 \bar{a}(S_1) \frac{1}{\pi R}. \quad (4)$$

Або позначивши $C = \frac{1}{\pi R}$, отримаємо $S = S_1 \bar{a}(S_1) C$.

Визначення параметрів двохфакторної моделі при випробуваннях за схемою циліндр - кулька

Для оцінки зношування досліджуваного циліндричного зразка за схемою циліндр-кулька приймемо модель у вигляді залежності інтенсивності зношування від безрозмірних параметрів контактного тиску і швидкості у вигляді:

$$\frac{du_w}{dS} = K_w \left(\frac{\sigma}{HB} \right)^m \left(\frac{V}{V^*} \right)^n, \quad (5)$$

де σ – тиск у контакті, МПа;

HB – твердість за Брінелем, МПа;

u_w – лінійне зношування циліндричної поверхні, м;

S – шлях тертя для циліндра, м;

K_w, m, n – параметри закономірності зношування;

V, V^* – відповідно швидкість випробувань і базова швидкість ковзання, м/с.

Приймемо форму зношеної поверхні у вигляді колового жолоба з радіусом профілю \bar{a} . Припустимо що контактний тиск під жорсткою кулькою по зношеній поверхні жолоба циліндра розподілений рівномірно. Тоді справедливо співвідношення:

$$\sigma = \frac{Q}{\pi \bar{a}^2}, \quad (6)$$

де Q – діюче при випробуваннях навантаження;

\bar{a} – радіус колової площадки контакту спряжених циліндра і кульки.

Зв'язок максимального зносу u_w і розміру площадки контакту \bar{a} центрі площадки визначається з геометрії перетину спряженого циліндра і кульки. При цьому будемо розглядати контакт сфери радіусом r з циліндром радіусом R . З достатньою точністю шукану залежність можна подати у вигляді [3]:

$$u_w(S) = \frac{a(S)^2}{2R^*}, \quad (7)$$

де $R^* = \frac{Rr}{R+r}$ – приведений радіус в контакті циліндра і кульки.

Нехай експериментальна залежність радіусу колового жолобу зносу циліндра від шляху тертя представляється у вигляді степеневі апроксимації:

$$\bar{a}(S) = cS^\beta, \quad (8)$$

де c, β – параметри апроксимації, які визначаються за наслідками випробувань.

Інтегруючи вираз (5), отримаємо інтегральну форму моделі зношування циліндра:

$$u_w(S) = K_w \int_0^S \left(\frac{\sigma(S)}{HB} \right)^m \left(\frac{V}{V^*} \right)^n dS. \quad (9)$$

Підставляючи в ліву частину отриманого рівняння вираз (7) для зносу через радіус площадки контакту, а в праву – вираз (6) для контактного тиску, отримуємо:

$$\frac{\bar{a}^2(S)}{2R^*} = K_w \int_0^S \left[\left(\frac{Q_1}{\pi \bar{a}^2(S)} \right) \frac{1}{HB} \right]^m \left(\frac{V}{V^*} \right)^p dS, \quad (10)$$

або, з урахуванням виразу (8), після інтегрування по шляху тертя маємо:

$$\frac{c^2 S^{2\beta}}{2R^*} = K_w \left(\frac{Q_1}{c^2 \pi HB} \right)^m \left(\frac{V}{V^*} \right)^n \frac{S^{1-2\beta m}}{1-2\beta m}. \quad (11)$$

З умови виконуваності рівняння (11) при будь-яких S слідує:

$$m = \frac{1-2\beta}{2\beta}. \quad (12)$$

Для знаходження параметра n проводимо випробування при двох значеннях швидкості ковзання V_1 і V_2 , звідки отримуємо дві групи даних з параметрами:

$$\begin{aligned} \bar{a}_1 &= c_1 S^\beta; \\ \bar{a}_2 &= c_2 S^\beta. \end{aligned} \quad (13)$$

Підставляючи вирази (13) в (11), отримуємо два рівняння:

$$\left. \begin{aligned} \frac{c_1^2 S^{2\beta}}{2R^*} &= K_w \left(\frac{Q_1}{c_1^2 \pi HB} \right)^m \left(\frac{V_1}{V^*} \right)^n \frac{S^{2\beta}}{2\beta}; \\ \frac{c_2^2 S^{2\beta}}{2R^*} &= K_w \left(\frac{Q_1}{c_2^2 \pi HB} \right)^m \left(\frac{V_2}{V^*} \right)^n \frac{S^{2\beta}}{2\beta}. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Розділивши перше рівняння на друге, після перетворень знайдемо:

$$n = (2m + 2) \frac{\lg(c_1/c_2)}{\lg(V_1/V_2)}. \quad (15)$$

Для знаходження коефіцієнта K_w скористаємось одним з рівнянь (14):

$$K_w = \frac{\beta c_1^{2m+2}}{R^*} \left(\frac{HB}{Q} \right)^m \left(\frac{V^*}{V} \right)^n. \quad (16)$$

Тобто вирази (12), (15), (16) дозволяють за результатами випробувань за схемою «циліндр-куля» побудувати розрахункову модель закономірності зношування від двох визначальних факторів: контактного тиску і швидкості.

Експериментальна установка

Для випробування зміцнених електромеханічною обробкою зразків доопрацьована багатофункціональна лабораторна установка, структурно-функціональна схема і технічна характеристика якої приведені в роботі [3]. Нові конструктивні рішення (рис.2) дозволяють випробування трибологічних властивостей зміцненої циліндричної поверхні за схемою пари тертя «циліндр – куля» при змащуванні контактної поверхні рідко текучими мастильними оливами.

Випробувальний зразок 11 у вигляді втулки зі зміцненою поверхнею вільно посаджений на оправку 4 і закріплений гайкою 10. Оправка 4 вгвинчена в хвостовик 3, спарений з конусною поверхнею шпинделя 1 і закріплений в ньому накидною гайкою 2. Сталева кулька 12 (контртіло) нерухомо закріплена в наконечнику 13 упорним стрижнем 14, вставленим в отвір повзуна 15 механізму навантаження установки важелем 17. Корпус 16 механізму навантаження встановлений і прикріплений до каретки поздовжньої подачі S установки (не показано). Притискання кульки 12 до зміцненої поверхні випробувального зразка 11 здійснюється заданою силою P , прикладеною до важеля 17.

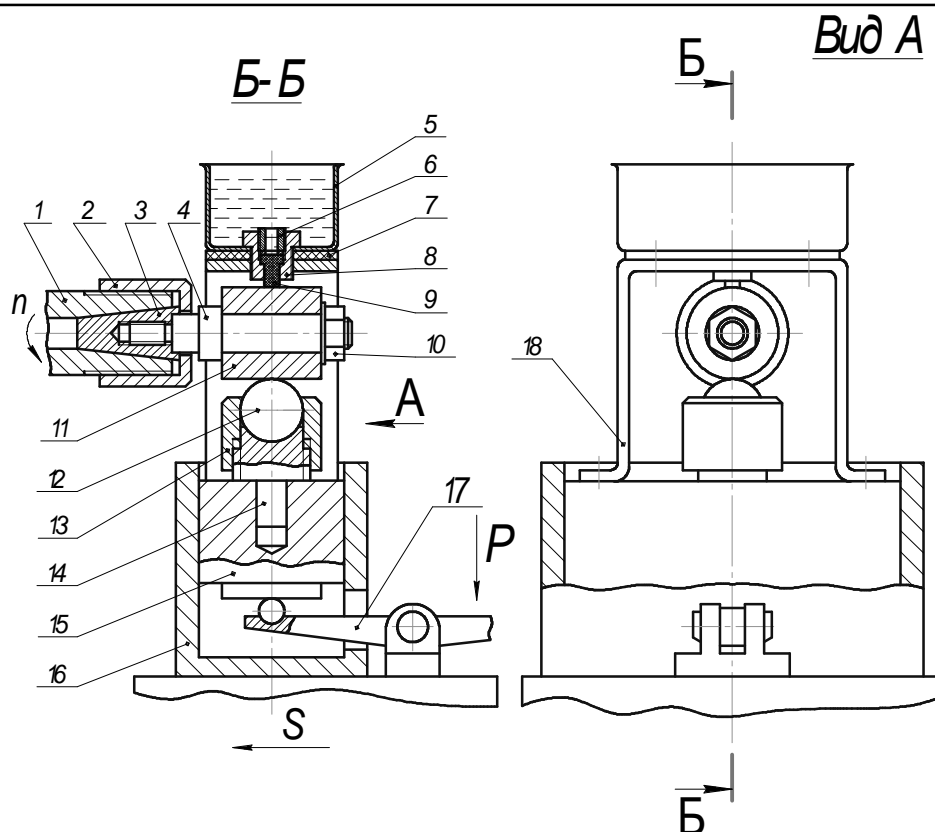


Рис. 2 – Експериментальна установка

Для змащування зони тертя рідко текучими оливами до повзуна 15 прикріплений П-подібний кронштейн 18, на якому встановлена ванна 5, наповнена оливою. В отвір дна ванни 5 вставлена ливникова втулка 8 з фетровим осердям 9, затиснутим різьбовою з отвором пробкою 6. Корпус ванни 5 кріпиться до горизонтальної полки кронштейна 18 втулкою 8. Ущільнення з'єднання корпусу ванни з полкою кронштейна забезпечується гумовою прокладкою 7.

Змащування зони тертя відбувається за рахунок ковзання змоченого мастильною оливою фетрового осердя по сліду рухомого контакту кульки 12 з випробувальною поверхнею зразка 11.

Висновок

Для двохфакторної моделі зношування (контактний тиск – швидкість ковзання) представлена теоретична методика визначення характеристик зношування за результатами експериментальних випробувань по схемі «циліндр-куля». Для реалізації методу випробувань розроблена конструкція випробувальної установки. Метод випробувань рекомендований для оцінки технологій зміцнення поверхневого шару зовнішніх циліндричних поверхонь деталей машин.

Література

1. Системный анализ методологии трибологических испытаний конструкционных материалов / В. Пекошевски, В. Потеха, М. Щерк [та ін.] // Трение и износ. – 1996. – Т. 17, № 2. – С. 178-186.
2. Кузьменко А.Г. Методы испытаний на износ / А.Г. Кузьменко., С.В. Сытник // Проблемы трибологии. – 1999. – № 2(12). – С. 38-109.
3. Вельбой В.П. Багатофункціональна лабораторна установка для дослідження трибологічних властивостей конструкційних і мастильних матеріалів / В.П. Вельбой, А.Г. Кузьменко, О.В. Диха, М.О. Диха // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2008. – № 1. – С. 94-98.

Надійшла 25.04.2012