

¹О. І. Богданович, канд. техн. наук, доц.,
²К. Е. Грінкевич, канд. техн. наук, доц.

ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ЕНЕРГІЇ АКТИВАЦІЇ ЗНОСУ В УМОВАХ РЕВЕРСИВНОГО ТЕРТЯ

¹Національний авіаційний університет,

²Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича, НАНУ

Проведені трибокінетичні випробування сталі 40Х в середовищі вазелінового масла на машині тертя АТКД в режимі зворотно-поступального руху визначили кінетичні характеристики (швидкості реакції, порядок та константи швидкості реакції) та енергію активації зносу $E_{3П}^P = 8,962$ кДж/моль, що значно менше ніж при односпрямованому русі.

Стан проблеми. Розвиток техніки неможливо уявити без підвищення надійності, продуктивності, економічності машин, механізмів, агрегатів та складових вузлів. Особливої актуальності ці вимоги набувають при проектуванні, виробництві й експлуатації сучасної техніки. Підвищення міцності, надійності, продуктивності техніки залежить від поверхневої міцності окремих агрегатів і вузлів. Своєю чергою, підвищення поверхневої міцності конструктивних матеріалів, як і покращення протизносних властивостей паливо-мастильних матеріалів, неможливе без проведення триботехнічних випробувань з використанням енергетичних, тобто інтегральних, універсальних, диференційних, інваріантних, хоча б в одному діапазоні, значень навантаження (P), швидкостей ковзання ($V_{\text{ковз}}$), температур (T), критеріїв оцінки зносостійкості та протизносних властивостей матеріалів трибоспряжень. Один з таких універсальних критеріїв оцінки зносостійкості та протизносних властивостей матеріалів трибоспряжень був раніше запропонований та експериментально випробуваний для оцінки зносостійкості сталі ШХ15 і протизносних властивостей авіапалив РТ, ТС-1 та авіаційної гідравлічної оливи АМГ-10 [1]. Це – енергія активації поверхневого руйнування – E^P , тобто, власне, зносу. Цей критерій – енергетичний (інтегральний) по суті, універсальний та диференційний у використанні, інваріантний в діапазоні структурної застосовуваності матеріалів трибоспряжень. Експериментально [1] (на машині тертя «КІИГА-2») були встановлені кінетичні характеристики (порядки реакцій – N^P та константи швидкостей – K^P) всіх трьох стадій трибореакції, в тому числі і третьої стадії – зносу. Як було показано, енергія актива-

ції АМГ-10 приблизно у 2,5 разу вища ніж у зазначених вище авіапаливах. Параметри тертя суттєво впливають на процеси зношування матеріалів трибоспряжень [2; 3; 4], і, як наслідок, можливо, на трибокінетичні характеристики й енергію активації процесів зношування. Випробування на машині тертя АТКД [5] можуть бути здійснені при односпрямованому та зворотно-поступальному (реверсивному) русі індентора, в режимі квазістатичного та динамічного навантаження. Трибокінетичні характеристики (порядки реакції N^p та константи швидкості K^p) були встановлені при односпрямованому русі індентора, але E^p не визначали [1].

Мета роботи. У ході проведення трибокінетичних випробувань встановити кінетичні характеристики (N^p та K^p) та енергію активації зносу в умовах зворотно-поступального руху.

Експериментальна частина. Для досягнення поставленої мети було проведено трибокінетичні випробування на машині тертя АТКД за умов зворотно-поступального руху індентора зі швидкістю ковзання $V_{\text{ковз}} = 0,13$ м/с, навантаженням $P = 30$ Н та двома температурами: $T_1 = 313$ °К, $T_2 = 333$ °К в середовищі вазелінового масла, як найпоширеніш інактивного мастильного матеріалу. Індентор виготовлена із сталі 40Х, загартована до твердості 40 НRC. Плоский зразок зі сталі 45 відшліфований за восьмим класом чистоти.

У ході трибокінетичних випробувань у наслідок зносу плоского зразка утворювалася «доріжка» завдовжки $l = 8$ мм. Глибина та ширина цієї «доріжки» залежать від часу випробувань – t і вимірювали їх за допомогою профілометра – профілографа заводу «Калібр».

Розрахункова частина. Вимірявши глибину (h), ширину (b) та знаючи довжину ($l = 8$ мм) доріжки зносу, розраховуємо об'єм зносу V

$$V = \frac{1}{2} h \cdot b \cdot l. \quad (1)$$

Далі, знаючи значення V_1 , обчислюємо швидкість зносу ω

$$\omega = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{V_{ii} - V_{ii-1}}{t_i - t_{i-1}},$$

де V_{ii} та V_{ii-1} – об'єми зносу в моменти часу t_i та t_{i-1} відповідно.

Порядок реакції зносу N^p розраховували за формулою

$$N^p = \frac{\lg \omega_2 / \omega_3}{\lg V_2 / V_3}$$

де ω_2 та ω_3 – швидкості зносу для часу t_2 та t_3 , відповідно, V_2 та V_3 – об'єми зносу для часу t_2 та t_3 відповідно.

Константи швидкості зносу K^P розраховуємо, використовуючи кінцеву різницю об'ємів зносу в інтервалі Δt , тобто

$$K^P = \frac{\Delta V}{\Delta t V_a} = \frac{\omega}{V_a}$$

де V_a – середнє арифметичне значення V на початку та в кінці інтервалу Δt .

Результати розрахунків V , ω , N^P , K^P , а також коефіцієнти варіації оцінки $K^P - W$ та час випробувань t наведені в таблиці. Також для перевірки правильності визначення кінетичних характеристик зносу ω , N^P , K^P , згідно з отриманими результатами проведених трибокінетичних випробувань було побудовано графіки залежності $\lg V$ від t . Графічно визначені константи швидкості зносу також наведено у таблиці.

Таблиця

Кінетичні характеристики зносу в умовах зворотно-поступального руху

Температура випробувань, T , °K	Час випробувань t , $\times 10^3$, с	Об'єм зносу, V , мм ³	Швидкість зносу для інтервалів часу Δt , $\omega \times 10^{-5}$, мм ³ с ⁻¹	Порядок реакції зносу, $K^P \times 10^{-3}$, с ⁻¹	Константи швидкості зносу, $K^P \times 10^{-3}$, с ⁻¹	Середні значення $K^P \times 10^{-3}$, с ⁻¹	Коеф. варіації значення K^P , %	Значення K^P визначені графічно
313	1,8	0,0440		0,90		0,1222	18,9	= $\text{tg} 7^\circ$ = 0,1225
	3,6	0,0580	0 (7)		0,1525			
	5,4	0,06904	0,61 (3)		0,0966			
	7,2	0,08536	0,90 (6)		0,1174			
333	1,8	0,04373		1,22		0,1683	13,8	= $\text{tg} 9^\circ 30'$ = 0,1675
	3,6	0,05920	0,859(4)		0,1670			
	5,4	0,08536	1,45 (3)		0,2011			
	7,2	0,10933	1,361(6)		0,1368			

Знаючи K^P при двох температурах $T_1 = 333^\circ\text{K}$ та $T_2 = 313^\circ\text{K}$, згідно з рівнянням Арреніуса, розраховуємо енергію активації зносу в умовах зворотно-поступального руху

$$E_{зп}^P = \frac{RT_1 T_2}{T_1 - T_2} \ln \frac{K_1^P}{K_2^P} = \frac{1.9144 \cdot 333 \cdot 313}{333 - 313} \ln \frac{0.1683}{0.12215} = 8.962 \text{ кДж / моль}$$

де R – універсальна газова стала.

Зазначимо, що при односпрямованому русі значення E^P в середовищі авіапалив (ТС-1, РТ) [6; 7] приблизно в 2 рази більші, а зна-

чення E^P в середовищі оливи (АМГ-10) у 5,5 разу більші ніж $E_{3П}^P$ в середовищі інактивної вазелінового масла в умовах зворотно-поступального руху. Таким чином, відомий [8] негативний ефект реверса – інтенсифікація зносу порівняно з односпрямованим тертям підтверджено суттєвим зменшенням значення $E_{3П}^P$.

Висновки:

1. Уперше визначені значення кінетичних характеристик (швидкості, порядку та константи швидкостей) та енергія активації зносу в умовах зворотно-поступального руху $E_{3П}^P = 8,962$ кДж/моль.
2. Значення $E_{3П}^P$ в середовищі інактивного масла (в умовах реверсивного руху) приблизно в 5,5 разу менше, ніж E^P в середовищі масла з присадками (в умовах односпрямованого руху).
3. Отримані результати підтвердили доцільність розрахунково-експериментальної методики оцінки кінетичних та енергетико-активаційних характеристик зносостійкості матеріалів трибоспрямижень АТКД.

Список літератури

1. *Богданович А.И.* Кинетические и энергетико-активационные характеристики износостойкости и совместимости материалов трибоспрямлений: Автореф... дис. канд. тех. наук: – К.: КИИГА, 1987. – 20 с.
2. *Костецкий Б.И., Носовский И.Г., Бершадский Л.И. и др.* Надежность и долговечность машин. – К.: Техніка, 1975.– 408 с.
3. *Лабунець В.Ф.* Проблемные вопросы трения и изнашивания и перспективы их решений//Проблеми тертя та зношування, – 2006. – Вип. 46. – С. 5–28.
4. *Гринкевич К.Э.* Некоторые положения структурно-динамической концепции трибосистемы и их практическая реализация // Трение и износ. – 2003. – Т.24, № 3.– С. 344–350.
5. *Зенкин Н.А., Гринкевич К.Э.* Комплекс диагностической аппаратуры и методология контроля параметров трибосистемы в динамических условиях испытаний// Контроль. Диагностика. – 2002. –№ 6. – С. 49–51.
6. *Богданович О.І.* Енергія активації протизносних властивостей авіа палива ТС-1 довготривалого зберігання:– Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції НАУ, 23–25 квітня 2002 р. – К., 2002. –С. 43.57–43.59.
7. *Дмитрієв С.О., Богданович О.І.* Порівняння енергії активації зношування сплаву ШХ15 в паливі «ТС-1» з аналогічним значенням енергії активації зношування в паливі «ТС-1» довготривалого зберігання: Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції Авіа-2007. – К., 2007. –С. 33.79–33.82.
8. *Справочник по триботехнике / Под ред. А.В. Чичинадзе.*– Т.1 – М.: Машиностроение, 1989. – 397 с.

Стаття надійшла до редакції 23.03.09.