
ТРИБОПОВЕРХНЕВІ ЯВИЩА

УДК 621.891

Г.О. Сіренко, Л.М. Солтис

Трибоповерхневі властивості карбопластика під час тертя по шорсткій ізотропній металевій поверхні в дистильованій воді

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,
бул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76025, Україна*

Досліджено інтенсивність зношування полімерного композитного матеріалу на основі політетрафторетилену та вуглецевого волокна під час тертя по шорсткій ізотропній металевій поверхні в дистильованій воді. Знайдено апроксимаційні рівняння інтенсивності зношування полімерного композиту з моментами спектральної щільності шорсткої ізотропної металевої поверхні.

Ключові слова: шорсткість, інтенсивність зношування, ізотропна поверхня, тертя, композиційний полімерний матеріал, спектральна щільність, металеве контртіло.

H.O. Sirenko, L.M. Soltys

Tribosurface properties of carbonplastic in friction on rough isotropic metal surface in distillation water

*Vasyl Stefanyk' Precarpathian National University,
57, Shevchenko Str., Ivano-Frankivsk, 76025, Ukraine*

The intensity of wear of polymer composite material based on polytetrafluoroethylene and carbon fiber in friction on rough isotropic metal surface in distillation water are investigated. Approximating equations of intensity of wear of polymer composite with moments of spectral density of rough isotropic metal surface are found.

Key words: roughness, intensity of wear, isotropic surface, friction, composite polymer material, spectral density, metal counterface.

Стаття поступила до редакції 20.10.2009; прийнята до друку 10.11.2009.

Вступ

Відомо, що трибоповерхневі властивості композиційних полімерних матеріалів під час тертя по металевих контртілах визначаються параметрами шорсткої поверхні, величиною навантаження пари тертя, швидкістю ковзання, температурою поверхонь тертя та середовищем, в якому відбувається динамічний контакт.

Відомо, також [1-5], що найкращий математичний опис шорсткості поверхні виконаний за допомогою теорії випадкового поля.

Завдання дослідження: знайти за методом Брандона апроксимаційні рівняння інтенсивності

зношування полімерного композиту з моментами спектральної щільності (СЩ) шорсткої ізотропної металевої поверхні, а також проаналізувати результати та встановити мінорантні ряди впливу моментів спектральної щільності на інтенсивність зношування полімерного композиту на основі політетрафторетилену та вуглецевого волокна.

І. Експериментальна частина

Досліджували зносостійкість композитного матеріалу – карбопластика на основі ПТФЕ, наповненого 20% карбонізованого низько-модульного (LM) вуглецевого волокна УТМ-8,

отриманого з гідратцелюлозного волокна (при термообробці за температури 1123 К в середовищі CH_4 в присутності антипіренів $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ та $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$) під час тертя та зношування в дистильованій воді на трибометрі ХТІ-72 за схемою [II-2]: сферична кінцівка (радіусом 6,35 мм) пальчика діаметром $10 \pm 0,05$ мм і висотою $15 \pm 0,1$ мм – площа металевого контртіла; при нормальному навантаженні на один зразок $N_i=100$ Н та $N_{\Sigma}=300$ Н на три зразка; швидкість ковзання $v=0,3$ м/с; температура металевих поверхонь $T=315 \pm 1$ К; металеві контртіла з вуглецевої сталі 45 (НВ 4,6 ГПа; $R_{a0}=0,23$ мкм); вуглецевої сталі У-8 (НВ 1,8 ГПа; $R_{a0}=0,25$ мкм); міді електролітичної М-1 (НВ 0,66 ГПа; $R_{a0}=0,30$ мкм) та бронзи Бр. ОФ 6,5-0,15 (НВ 0,86 ГПа; $R_{a0}=0,28$ мкм); контртіла були виконані у вигляді суцільного тіла діаметром $60 \pm 0,15$ мм і товщиною $10 \pm 0,15$ мм, які були накладені в гніздо порожнистого тіла діаметром $60 \pm 0,15$ мм, висотою $35 \pm 0,20$ мм, через яке пропускали технічну воду; металеве контртіло знаходилося в чашці, через яку пропускалася протічна дистильована вода; дослід проводився в 2 етапи: в режимі надграничного навантаження ($p \approx \text{НВ}_y$), шлях тертя $S_1=0-2$ км, інтенсивність об'ємного зношування (I_1 [$\text{мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м}$]) та в режимі граничного навантаження, коли питома навантаження \approx міцності при стиску, $S_2=2-18$ км, (I_2 [$\text{мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м}$]); сталій тепловий режим поверхні тертя підтримували протічною технічною та дистильованою водою.

Шорсткість поверхні оцінювали за моментами спектральної щільності (СЩ): нульового порядку m_0 , пов'язаного з висотним параметром; другого порядку m_2 , пов'язаного з градієнтом поверхні; четвертого порядку m_4 , пов'язаного з кривиною висот вершин ізотропної металеві поверхні.

II. Результати та обговорення

Дано оцінку внеску моментів СЩ металеві поверхні в інтенсивність зношування карбопластика, пов'язавши рівнянням ці величини за методом Брандона (місце моментів m_0 , m_2 , m_4 в апроксимаційних рівняннях визначали за коефіцієнтами кореляцій між I_1 та m_j).

Під час тертя у дистильованій воді при надграничних (I_1) та граничних (I_2) навантаженнях на полімерний зразок для інтенсивності зношування карбопластика отримані такі рівняння регресії:

- сталь 45 (НВ 4,6 ГПа)

$$I_1 = (11,309 + 1,615 \cdot 10^2 m_0 - 41,856 m_2^2)(0,849 + 23,29 m_2)(0,988 + 5,103 \cdot 10^2 m_4) \cdot 10^{-7};$$

$$r_0 = 0,784; r_2 = 0,618; r_4 = 0,472; \quad (1)$$

$$I_2 = (32,267 + 1,033 \cdot 10^2 m_0 - 18,872 m_2^2)(0,954 + 5,348 m_2)(1,034 - 1,464 \cdot 10^3 m_4) \cdot 10^{-7};$$

$$r_0 = 0,740; r_2 = 0,639; r_4 = 0,497; \quad (2)$$

- сталь У-8 (НВ 1,8 ГПа)

$$I_1 = 0,9965(7,805 + 1,981 \cdot 10^2 m_0 - 90,663 m_2^2)(1,598 - 2,535 \cdot 10^2 m_2)(1,145 - 4,103 \cdot 10^3 m_4) \cdot 10^{-7};$$

$$r_0 = 0,805; r_2 = 0,718; r_4 = 0,272; \quad (3)$$

$$I_2 = 0,9907(22,319 + 60,438 m_0 - 17,794 m_2^2)(1,311 - 1,666 \cdot 10^2 m_2)(1,199 - 5,967 \cdot 10^3 m_4) \cdot 10^{-7};$$

$$r_0 = 0,517; r_2 = 0,338; r_4 = -0,127; \quad (4)$$

- мідь електролітична М-1 (НВ 0,66 ГПа)

$$I_1 = 0,9999(4,569 - 15,943 m_2 + 7,57 \cdot 10^4 m_2^2)(1,022 - 1,09 \cdot 10^{-2} m_0)(0,819 + 1,195 \cdot 10^3 m_4) \cdot 10^{-7};$$

$$r_0 = 0,742; r_2 = 0,932; r_4 = 0,408; \quad (5)$$

$$I_2 = (3,869 - 7,01 \cdot 10^3 m_4 + 7,843 \cdot 10^6 m_4^2)(0,952 + 2,564 \cdot 10^{-2} m_0)(0,91 + 11,556 m_2) \cdot 10^{-7};$$

$$r_0 = 0,187; r_2 = 0,151; r_4 = -0,249; \quad (6)$$

- бронза Бр. ОФ 6,5-0,15 (НВ 0,86 ГПа)

$$I_1 = (8,321 + 1,599 \cdot 10^2 m_2 + 1,577 \cdot 10^4 m_2^2)(1,037 - 2,779 \cdot 10^{-2} m_0)(0,966 + 1,573 \cdot 10^2 m_4) \cdot 10^{-7};$$

$$r_0 = 0,690; r_2 = 0,824; r_4 = 0,545; \quad (7)$$

$$I_2 = (3,448 + 9,99 \cdot 10^2 m_4 + 7,172 \cdot 10^6 m_4^2)(1,077 - 5,806 \cdot 10^{-2} m_0)(1,003 - 0,242 m_2) \cdot 10^{-7};$$

$$r_0 = -0,178; r_2 = 0,117; r_4 = 0,470, \quad (8)$$

де I_1 , I_2 – інтенсивності зношування ($\text{мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м}$) на шляху тертя 0...2 км (надграничні навантаження) та 2...18 км (граничні навантаження) відповідно;

m_0 , m_2 , m_4 – моменти спектральної щільності металеві вихідної поверхні;

r_0 , r_2 , r_4 – коефіцієнти кореляцій між інтенсивностями зношування і відповідними моментами СЩ вихідної поверхні металеві контртіла.

За силою внеску моментів СЩ в інтенсивність зношування в умовах, коли утворення проміжної плівки на контртілі утруднено, знайдені такі співвідношення:

- для твердої поверхні вуглецевої сталі 45 (НВ 4,6 ГПа)

$$E(m_0) > E(m_2) > E(m_4) \text{ (для } I_1 \text{ і } I_2); \quad (9)$$

- для м'якої поверхні вуглецевої сталі У-8 (НВ 1,8 ГПа)

$$E(m_0) > E(m_2) \gg E(m_4) \text{ (для } I_1 \text{ і } I_2); \quad (10)$$

- для міді електролітичної М-1 (НВ 0,66 ГПа) та олово-фосфористої бронзи Бр. ОФ 6,5-0,15 (НВ 0,86 ГПа)

$$E(m_2) > E(m_0) > E(m_4) \text{ (для } I_1); \quad (11)$$

$$E(m_4) > E(m_0) > E(m_2) \text{ (для } I_2). \quad (12)$$

Висновки

Для твердої та м'якої сталей висотний параметр у більшій мірі, а потім градієнт поверхні та набагато менше кривини у вершинах вихідної шорсткої поверхні сталей визначають інтенсивність зношування в обох режимах навантаження, для м'яких стопів на основі міді градієнт поверхні у більшій мірі, потім висота

нерівностей і менше кривина вершин визначають інтенсивність зношування I_1 полімерного композиту в режимі надграничних навантажень, а в режимі граничних навантажень кривини у більшій мірі визначають інтенсивність зношування I_2 , ніж висота нерівностей та ще менше градієнт поверхні в умовах, коли утруднено формування проміжних шарів на металевих поверхнях у дистильованій воді.

Література

1. **Найяк П.Р.** Применение модели случайного поля для исследования шероховатых поверхностей // Проблемы трения и смазки. – 1971. – Т.93. – Сер. Ф. – №3. – С. 85.
2. **Семенюк Н.Ф., Сиренко Г.А.** Описание топографии анизотропных шероховатых поверхностей трения с помощью модели случайного поля: 1. Распределение высот вершин, средняя кривизна в вершинах, градиент поверхности // Трение и износ. – 1980. – Т.1. – №3. – С. 465 – 471.
3. **Семенюк Н.Ф., Сиренко Г.А.** Описание топографии анизотропных шероховатых поверхностей трения с помощью модели случайного поля: 2. Полная кривизна, главные кривизны и отношение главных кривизн в вершинах микронеровностей, удельная площадь гауссовской поверхности и удельный объем зазора // Трение и износ. – 1980. – Т.1. – №5. – С. 815 – 823.
4. **Семенюк Н.Ф., Сиренко Г.А.** Описание топографии анизотропных шероховатых поверхностей трения с помощью модели случайного поля: 3. Фактическая площадь контакта, коэффициент трения, термическое сопротивление, адгезионное взаимодействие с учетом деформации в зоне контакта // Трение и износ. – 1980. – Т.1. – №6. – С. 1010 – 1019.
5. **Семенюк Н.Ф., Сиренко Г.А.** Топография и контактные явления анизотропных шероховатых поверхностей трения // Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конфер. «Трибоника и антифрикционное материаловедение». – Новочеркасск. 27-29.05.1980. – Новочеркасск: Изд-во Новочеркас. политех. ин-та, 1980. – С. 22.

Сиренко Г.О. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теоретичної та прикладної хемії Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника.

Солтис Л.М. – аспірант кафедри теоретичної та прикладної хемії Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника.

Рецензент

Мідак Л.Я. – кандидат хімічних наук, доцент кафедри теоретичної та прикладної хемії Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника.