
ТРИБОПОВЕРХНЕВІ ЯВИЩА

УДК 621.891

Г.О. Сіренко, Л.М. Солтис

Трибоповерхневі властивості карбопластика під час тертя по шорсткій ізотропній поверхні сталі 45 без мащення

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,
вул. 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 поверхні без мащення. Знайдено апроксимаційні рівняння інтенсивності зношування полімерного композиту з моментами спектральної щільності шорсткої ізотропної 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 surface of steel 45 without lubrication

*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 surface without lubrication are investigated. Approximating equations of intensity of wear of polymer composite with moments of spectral density of rough isotropic surface are found.

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

Стаття поступила до редакції 15.09.2009; прийнята до друку 22.10.2009.

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 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

CH₄ в присутності антипіренів Na₂B₄O₇·10H₂O та (NH₄)₂HPO₄) під час тертя та зношування без мащення на трибометрі ХТІ-72 за схемою [1-1]: торець пальчика діаметром 10±0,05 мм і висотою 15±0,1 мм – площа контртіла; контртіло було виконано порожнистим діаметром 60±0,15 мм, висотою 35±0,2 мм, товщиною робочої частини поверхні тертя 5±0,2 мм, через порожнину проходила вода, завдяки якій підтримувався заданий тепловий режим поверхні тертя; вуглецева сталь 45 термооброблена (НВ 4,6 ГПа) з початковою шорсткістю поверхні Ra₀=0,22±0,02 мкм; питоме навантаження p=3 МПа; швидкість ковзання v=1,1 м/с; температура, що була визначена термопарою ХК на відстані 1±0,05 мм від поверхні сталі 45, а величини (в mV) записувались на стрічку потенціометра КСП-4; профілограми знімали за допомогою профілометра-профілографа ВЭИ «Калибр»; знімали 50-60 базових довжин профілограми під кутом 45° до напрямку ковзання поверхні сталі 45.

Шорсткість поверхні оцінювали за моментами спектральної щільності (СЩ): нульового порядку m₀, пов'язаного з висотним параметром; другого порядку m₂, пов'язаного з градієнтом поверхні; четвертого порядку m₄, пов'язаного з кривиною висот вершин ізотропної поверхні.

Інтенсивність зношування карбопластика збільшується із зростанням m₀, m₂, m₄ вихідної поверхні. На шляху тертя без мащення 0-50 км це збільшення відбувається інтенсивніше, ніж на шляху 300-400 км і залежить від природи спряженої поверхні.

Топографія поверхні спряженого металу є домінуючим фактором у визначенні величини зносу карбопластиків не тільки на початку тертя (тобто пов'язане з параметрами вихідної поверхні), але і в процесі тертя, коли спряжена поверхня твориться самим композитом.

II. Результати та обговорення

Дамо оцінку внеску моментів СЩ поверхні вуглецевої сталі 45 термообробленої (НВ 4,6 ГПа) в інтенсивність зношування карбопластика, пов'язавши рівнянням ці величини за методом Брандона (місце моментів m₀, m₂, m₄ в апроксимаційних рівняннях визначали за коефіцієнтами кореляцій між I_i та m_i).

Рівняння зв'язку інтенсивності зношування карбопластика під час тертя без мащення з моментами СЩ m₀, m₂, m₄ вихідної поверхні сталі має такий вигляд (адекватність рівнянь визначали за критерієм Фішера з рівнем значущості 0,05):

- для шляху тертя 0...50 км

$$I_1 = (1,232 + 29,74m_0 - 4,533m_0^2)(1,194 - 18,17m_2)(0,994 + 53,893m_4) \cdot 10^{-7};$$

$$r_0 = 0,981; r_2 = 0,958; r_4 = 0,546; \quad (1)$$

- для шляху тертя 50...100 км

$$I_2 = (1,571 + 3,495m_0 - 0,497m_0^2)(0,996 + 0,203m_2)(1,012 - 94,692m_4) \cdot 10^{-7};$$

$$r_0 = 0,983; r_2 = 0,930; r_4 = 0,578; \quad (2)$$

- для шляху тертя 200...300 км

$$I_4 = (2,913 + 1,244 \cdot 10^2 m_2 + 2,012 \cdot 10^3 m_2^2)(0,999 + 1,121 \cdot 10^{-3} m_0)(1,007 - 58,403m_4) \cdot 10^{-7};$$

$$r_0 = 0,755; r_2 = 0,829; r_4 = 0,656; \quad (3)$$

- для шляху тертя 300...400 км

$$I_5 = (1,33 + 4,945 \cdot 10^3 m_4 + 2,343 \cdot 10^7 m_4^2)(1,017 - 3,178m_2)(1,021 - 24,2m_0) \cdot 10^{-7};$$

$$r_0 = 0,267; r_2 = 0,673; r_4 = 0,955, \quad (4)$$

де I₁, I₂, I₄, I₅ – інтенсивності зношування композиту на шляху тертя 0...50, 50...100, 200...300 та 300...400 км відповідно в мм³/Н·м; m₀ (мкм²), m₂ (безрозмірна величина), m₄ (мкм⁻²) – моменти спектральної щільності вихідної поверхні сталі 45;

r₀, r₂, r₄ – коефіцієнти кореляцій інтенсивностей зношування композиту та моментів нульового, другого та четвертого порядку СЩ вихідної поверхні сталі відповідно.

Як видно з величин коефіцієнтів рівнянь регресії (1-4), інтенсивність зношування карбопластика суттєво залежить від моментів СЩ вихідної поверхні контртіла із сталі 45, при цьому за силою внеску моментів СЩ в інтенсивність зношування їх можна поставити у такі мінорантні ряди (оцінка за абсолютними величинами коефіцієнтів кореляцій):

для шляху тертя

$$0...50 \text{ км} \quad E(m_0) > E(m_2) \gg E(m_4); \quad (5)$$

$$50...100 \text{ км} \quad E(m_0) > E(m_2) \gg E(m_4); \quad (6)$$

$$200...300 \text{ км} \quad E(m_2) > E(m_0) \gg E(m_4); \quad (7)$$

$$300...400 \text{ км} \quad E(m_4) \gg E(m_2) > E(m_0). \quad (8)$$

Як видно із цього порівняння, на шляху тертя до 100-150 км привалює висотний параметр, при S > 150 км до 300 км – параметр, пов'язаний з градієнтом вихідної поверхні сталі, а при S > 300 км – параметр, пов'язаний з кривинами вихідної поверхні сталі. Таким чином, можна стверджувати, що при терті без мащення на формування проміжних шарів впливають в першу чергу кривини, а потім градієнт вихідної поверхні контртіла.

Рівняння зв'язку інтенсивності зношування (мм³/Н·м) на шляху тертя 300-400 км з моментами m'₀, m'₂, m'₄ СЩ поверхні контртіла із сталі 45, яка утворилася після 300 км ковзання композиту, має такий вигляд:

$$I_5 = 1,004(1,348 + 4,44 \cdot 10^2 m'_2 + 7,632 \cdot 10^5 m'_2^2) \times (0,808 + 1,107 m'_0)(1,188 - 7,892 \cdot 10^3 m'_4) \cdot 10^{-7};$$

$$r'_2 = 0,937; r'_0 = 0,771; r'_4 = 0,644, \quad (9)$$

Як видно із величин коефіцієнтів рівняння регресії (9), інтенсивність зношування суттєво залежить від моментів СЩ поверхні контртіла із сталі 45, що утворилася в процесі тертя, при цьому, судячи з (7), (8), (9), ця залежність підпорядкована моментам СЩ фактично хвилястої плавучої поверхні контртіла у такій послідовності: $E(m_2) > E(m_0) > E(m_4)$. Через 200 км (після 300 км) тертя інтенсивність зношування знову, як і (8), залежить від моментів СЩ поверхні, що утворилася після 300 км, так: $E(m'_4) \gg E(m'_2) > E(m'_0)$.

Висновки

Кривини у вершинах вихідної шорсткої ізотропної поверхні вуглецевої сталі 45 визначають формування поверхонь пари тертя та зносостійкість полімерного композиту на основі політетрафторетилену та карбонізованого вуглецевого волокна при умовах тертя без мащення, коли утворюється проміжна плівка на суміжних поверхнях.

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.