

УДК 539.621: 621.82.09:

НАНОЧАСТИНКИ СРІБЛА ЯК МОДИФІКАТОРИ ТЕРТЯ У ПАРАХ СТАЛЬ–СТАЛЬ

В. І. ПОХМУРСЬКИЙ¹, В. М. ДОВГУНИК¹, А. Р. КИЦЯ²

¹ Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів;

² Відділення фізико-хімії горючих копалин Інституту фізико-органічної хімії і вуглехімії
ім. Л. М. Литвиненка НАН України, Львів

Вивчено трибологічну поведінку пари тертя сталь–сталь у мінеральній оливі з додаванням до неї наночастинок срібла низьких концентрацій та деяких їх стабілізаторів. Показано, що зі всіх досліджуваних додатків найефективніша олеїнова кислота, а її сумісна дія з наночастинками срібла забезпечує найнижчий коефіцієнт тертя.

Ключові слова: коефіцієнт тертя, зношування, наночастинки срібла.

Об'єкти, еквівалентний розмір яких до 100 nm, вважають наночастинками. Їхні властивості визначають поверхневі атоми, енергія яких значно вища за енергію внутрішніх, оскільки у наностані речовина надзвичайно активна. Під час фрикційної взаємодії частинки легко агрегують між собою, руйнуються чи окиснюються та взаємодіють з компонентами середовища [1]. Трибологічні дослідження властивостей моторних олиव з додатками наночастинок свідчать про те, що такі композиції ефективні. Однак фрикційні характеристики пари тертя залежать від розміру наночастинок та їх концентрації у суспензії. Розмір більшості наночастинок, як додатків до олив, є в межах 2...120 nm. Частинки розміром ~20 nm ефективніші, ніж 5 nm, оскільки останні реакційно здатніші, утворюють агломерати та призводять до утворення задирів під час тертя. Для зміни трибологічних властивостей оптимальна концентрація наночастинок в оливі ~1 mass.% (1000 ppm) [2]. Однак вплив низьких концентрацій наночастинок на трибологічну поведінку пар тертя не досліджений. Тому нижче вивчено вплив додатку наночастинок срібла концентрації ~0,01 mass.% (100 ppm) до серійної мінеральної оливи на робоздатність пари тертя сталь–сталь.

Методики випроб. Технологія синтезу наночастинок срібла та морфологія їх поверхні описані в праці [1]. Трибологічні дослідження пар тертя сталь–сталь за граничного тертя ковзання проводили за схемою “диск–колодка” на установці СМЦ-2 за контактних навантажень 5...8 МПа з комп'ютерним записом даних з кроком 0,02 с. Швидкість ковзання 0,67 m/s. Використовували зразки: диск зі сталі 45 HRC 40...42 та колодку з гартованої сталі ШХ 15 HRC 60...62. Поверхню зразків шліфували алмазним кругом до розміру $d = 42 \pm 0,02$ mm та шорсткості $R_a = 0,3$ μ m. Співвідношення контактуючих площ за фрикційної взаємодії 0,125. Робочі середовища: індустріальна олива I-20, олива I-20 з додатком до неї 100 ppm наносрібла. До останньої композиції додавали емульгатор Е-30, олеат натрію та олеїнову кислоту в кількості 12 ppm кожного, оскільки модифікування наночастинок поверхнево-активними речовинами (ПАР) ефективно впливає на трибологічну поведінку пар тертя.

Результати досліджень та їх узагальнення. Експериментальні результати (рис. 1, криві 1, 2) свідчать про те, що під час випробування пар тертя сталь–сталь за навантажень 5 та 6 МПа коефіцієнти тертя та температура триборозігріву зраз-

ків практично однакові $\sim 0,02$ та $\sim 35^\circ\text{C}$, відповідно. За контактних навантажень 7 та 8 МПа вимірювані параметри вищі ~ 4 – 5 разів (рис. 1, криві 3, 4), а за навантажень понад 8 МПа дослідження вважали недоцільними через високу температуру триборозігріву контактуючих пар.

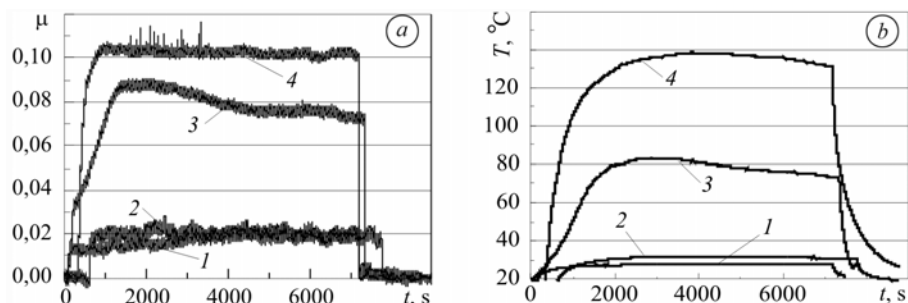


Рис. 1. Зміна коефіцієнтів тертя (а) та температури триборозігріву фрикційних пар (b) під час випробувань в оливі I-20 з додатком до неї 100 ppm наночастинок срібла за навантажень 5 МПа (1); 6 (2); 7 (3); 8 МПа (4).

Fig. 1. Variation of friction coefficient (a) and temperature of triboheating-up (b) in friction couples: under testing in mineral oil I-20 with addition of 100 ppm Ag nanoparticles under loading 5 MPa (1); 6 (2); 7 (3); 8 MPa (4).

Щоб виявити сумісний вплив додатку наночастинок срібла та ПАР на фрикційну поведінку пар тертя сталь–сталь, експерименти проводили за навантаження 6 МПа, оскільки воно оптимальне (рис. 1), і встановили, що за додавання 100 ppm нано-Ag до оливи I-20 коефіцієнт тертя зменшується \sim в 6 разів (рис. 2, крива 2). Подібний результат отримано і під час випробувань в суміші I-20 + 100 ppm нано-Ag + 12 ppm олеїнової кислоти (рис. 2, крива 5). Температура триборозігріву пар тертя за такого навантаження не перевищувала 40°C . Додаток E-30 та олеату натрію до мастильної суміші практично не впливає на зміну трибологічної поведінки пар тертя (рис. 2).

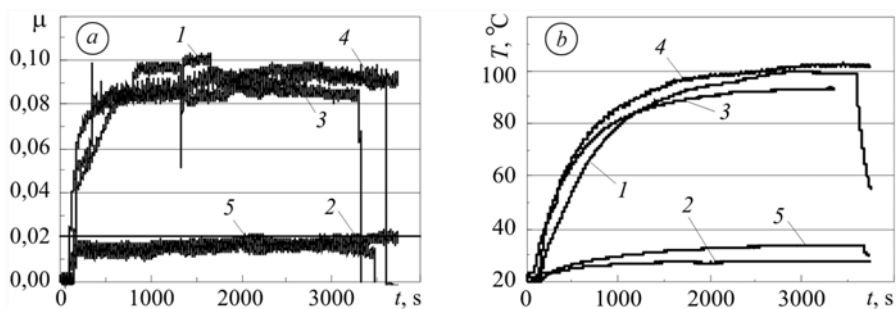


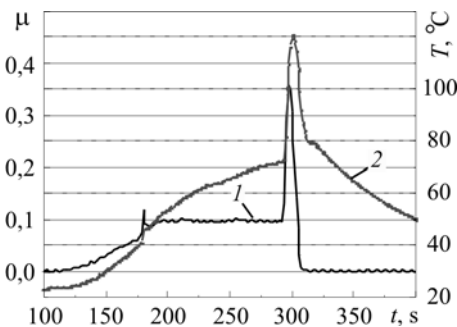
Рис. 2. Зміна коефіцієнтів тертя (а) та температури триборозігріву фрикційних пар (b) під час випробування в мінеральній оливі I-20 (1) та сумішах I-20 + 100 ppm нано-Ag (2); I-20 + 100 ppm нано-Ag + E 30 (3); I-20 + 100 ppm нано-Ag + олеат натрію (4); I-20 + 100 ppm нано-Ag + олеїнова кислота (5) за контактного навантаження 6 МПа.

Fig. 2. Variation of friction coefficient (a) and temperature of triboheating-up in friction couples (b): under testing in mineral oil I-20 (1) and mixtures I-20 + 100 ppm nano-Ag (2); I-20 + 100 ppm nano-Ag + E 30 (3); I-20 + 100 ppm nano-Ag + sodium oleate (4); I-20 + 100 ppm nano-Ag + oleic acid (5) under contact loading 6 MPa.

Поведінка пари тертя сталь–сталь за контактного навантаження 8 МПа в оливі I-20 з додатком наносрібла та стабілізаторів інша. Суміш оливи I-20 з додатком наносрібла та олеату натрію нероботоздатна. Фрикційна взаємодія супроводжується численними локальними задирами, зростанням коефіцієнта тертя та температурними спалахами (рис. 3).

Рис. 3. Кореляція коефіцієнта тертя (μ) та температури триборозігріву (2) у фрикційній парі сталь–сталь під час випроб у мінеральній оливі I-20 з додатком 100 ppm nano-Ag та олеату натрію. Навантаження 8 МПа.

Fig. 3. Correlation of the coefficient of friction (μ) and temperature of triboheating-up (2) in friction couples steel–steel when tested in mineral oil I-20 with addition of 100 ppm nano-Ag and sodium oleate for loading 8 MPa.



Додавання олеїнової кислоти до оливи I-20 зменшує коефіцієнт тертя порівняно з чистим мастилом \sim у 3,5 рази. Однак під час випроб коефіцієнт тертя зростає від 0,02 до 0,04, а температура триборозігріву пар тертя – до 60°C (рис. 4). Сумісна дія олеїнової кислоти та наносрібла забезпечує стабільність коефіцієнта тертя на рівні 0,02, а температури – не вище за 35°C.

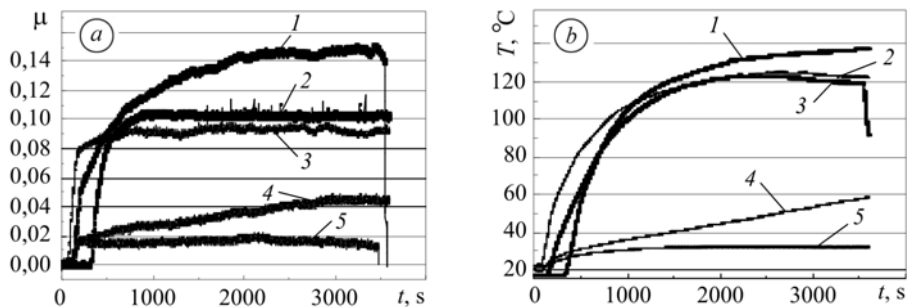


Рис. 4. Зміна коефіцієнтів тертя (a) та температури триборозігріву фрикційних пар (b) під час випроб в оливі I-20 (1); оливі I-20 + 100 ppm nano-Ag (2); оливі I-20 + 100 ppm наносрібла + E-30 (3); оливі I-20 + 12 ppm олеїнової кислоти (4); оливі I-20 + 100 ppm наносрібла + 12 ppm олеїнової кислоти (5) за контактного навантаження 8 МПа.

Fig. 4. Variation of friction coefficient (a) and temperature of triboheating-up in friction couples (b) when tested in oil I-20 (1); oil I-20 + 100 ppm nano-Ag (2); oil I-20 + 100 ppm nano Ag + E-30 (3); oil I-20 + 12 ppm oleic acid (4); oil I-20 + 100 ppm nano Ag + 12 ppm oleic acid (5) under contact loading 8 MPa.

Отже, виявлено сумісний вплив наночастинок срібла та ПАР на трибологічну поведінку пар тертя і показано, що зі всіх досліджуваних додатків, найефективнішою є олеїнова кислота. Сумісна дія олеїнової кислоти та наночастинок срібла забезпечує найнижчий коефіцієнт тертя в парі тертя сталь–сталь під час випроб за навантаження 8 МПа.

РЕЗЮМЕ. Изучено трибологическое поведение пар трения сталь–сталь в минеральном масле с добавлением к нему наночастиц серебра низких концентраций и некоторых их стабилизаторов. Показано, что из всех исследуемых добавок, наиболее эффективным является олеиновая кислота, а совместное ее действие с наночастицами серебра обеспечивает низкий коэффициент трения в фрикционной паре сталь–сталь.

SUMMARY. The tribological behavior of friction pairs steel–steel in mineral oil with the addition of low concentrations of silver nanoparticles and some of their stabilizers is studied. It is shown that oleic acid is the most effective of all investigated stabilizer and the combined effect of oleic acid and silver nanoparticles provides the lowest friction coefficient of friction pair steel–steel.

1. Вплив додатку наночастинок срібла до мастила на трибологічну поведінку комбінованих металооксидокерамічних шарів / В. І. Похмурський, В. М. Довгунік, М. М. Студент та ін. // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2012. – 48, № 5 – С. 73–77.
2. Wu Y. Y., Tsui W. C., and Liu T. C. Experimental analysis of tribological properties of lubricating oils with nanoparticle additives // Wear. – 2007. – 262. – P. 819–825.

Одержано 06.11.2012