

УДК 621.891

О. Л. Садова

Луцький національний технічний університет

ОСОБЛИВОСТІ ВИНИКНЕННЯ ЯВИЩА САМООРГАНІЗАЦІЇ В ПОВЕРХНЕВИХ ШАРАХ ЕПОКСИКОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ФРИКЦІЙНІЙ ВЗАЄМОДІЇ

В роботі проведено аналіз триботехнічних характеристик епоксикомпозитних матеріалів наповнених частинками порошків міді та вуглецевим волокном. Наведені залежності трибопараметрів досліджуваних матеріалів від питомого навантаження в процесі тертя при різних швидкості ковзання та навпаки. Показано доцільність використання полімерних композитних матеріалів, здатних до самоорганізації, в трибовузлах, що скорочує матеріальні, енергетичні і економічні витрати.

Ключові слова: композитний матеріал, епоксикомпозит, трибосистема, трибовузол, фрикційна взаємодія, вибіркоче перенесення, тертя, самоорганізація, властивості, вторинна структура.

Рис. 5. Табл. 1. Літ. 11.

А. Л. Садовая

ОСОБЕННОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЯВЛЕНИЯ САМООРГАНИЗАЦИИ В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ ЭПОКСИКОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ФРИКЦИОННОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ

В работе проведен анализ триботехнических характеристик эпоксикомпозитных материалов наполненных частицами порошков меди и углеродным волокном. Приведенные зависимости трибопараметров исследуемых материалов от удельной нагрузки в процессе трения при различных скоростях скольжения и наоборот. Показана целесообразность использования полимерных композитных материалов, способных к самоорганизации, в трибоузлах, что сокращает материальные, энергетические и экономические затраты.

Ключевые слова: композитный материал, эпоксикомпозит, трибосистема, трибоузел, фрикционное взаимодействие, выборочный перенос, трение, самоорганизация, свойства, вторичная структура.

O. L. Sadova

FEATURES OF SELF-ORGANIZATION PHENOMENA IN THE SURFACE LAYERS EPOKSYKOMPOZYTYNYH FRICTION MATERIAL AT INTERACTION

Tribotechnical characteristics of epoxy composites materials filled with particles of copper powder and carbon fiber has been analyzed in this paper. The dependence of tryboparameters of researched materials on unit load of friction process at various sliding speeds and vice versa has been presented. The expediency of the use of polymeric composite materials capable to self-organization in trybonodes, reducing material, energy and economic spending has been shown.

Keywords: composite material epoxycomposites, trybosystema, trybovuzol, frictional interaction, selective transfer, friction, self-organization, properties, secondary structure.

Постановка проблеми. Інтенсивність зношування пар тертя залежить від властивостей матеріалів деталей, технологічної підготовки поверхонь і їх якості, навантаження, температури, мащення тощо. Зношування високомолекулярних з'єднань залежить, головним чином, від структурної будови полімерної матриці [1-3] та її фізико-механічних властивостей. Фрикційна взаємодія контактуючих поверхонь є сукупністю механічного й температурного впливів на тверді тіла, що приводить до деформаційних і структурних змін матеріалів в зоні тертя, завдяки яким тонкий поверхневий шар насичується киснем, елементами контактного матеріалу. В ньому відбувається розрив хімічних зв'язків та утворення вільних радикалів, що зумовлює фрагментацію поверхневого шару і появу мікропустот [3-5].

Властивості матеріалу, його склад і структура в поверхневих шарах піддаються неперервним змінам, внаслідок чого на робочих поверхнях контакту можуть утворюватись вторинні структури, які впливають на зносостійкість пари тертя [6, 7]. Вторинні структури сприяють самоорганізації і структурному пристосуванню, що підвищує працездатність трибовузла.

Для виготовлення зносостійких деталей машин та механізмів, призначених для жорстких умов тертя, добре зарекомендували себе полімерні композиційні матеріали [3]. Багатоваріантність фізико-механічних і триботехнічних властивостей, що визначаються сукупністю характеристик в'язучого і наповнювачів, дозволяє отримувати матеріали, які можуть використовуватись у вузлах тертя без мащення. Тому актуальною задачею є створення нових композитних матеріалів, які здатні реалізувати ефект вибіркового перенесення, що стабілізує процес тертя.

Метою досліджень є дослідження явищ самоорганізації в створених полімерних композитах.

Матеріали і методи досліджень. В якості матриці використано епоксидно-діанову смолу марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84) та твердник поліетиленполіамін (ПЕПА) (ТУ 6-05-241-202-78). Для

покращення фізико-механічних та триботехнічних характеристик матеріалу використано комплекс наповнювачів: порошки оксиду міді, чистої міді, подрібнене вуглецеве волокно.

Приготування композиції полягало у механічному вимішуванні попередньо просушених наповнювачів з епоксидною смолою та твердником у вибраному стехіометричному співвідношенні. Формували зразки в прес-формі з квадратним поперечним перерізом (10×10 мм). Тверднення епоксикомпозитів тривало 24 год при кімнатній температурі. Додаткову термічну обробку здійснювали у печі, відхилення температури в якій не перевищувало ± 2 °С. Для уникнення високих залишкових напружень зразки піддавали попередній термічній обробці, яка полягала у витримці в печі протягом 3 год при 40 °С. Ступінчастий режим термічної обробки полягав у проведенні наступних операцій нагрівання та витримки: 50 °С та 100 °С з витримкою по 1 год, та 120 °С з витримкою 4 год.

Зносостійкість визначали на лабораторній установці за схемою "вал – сегмент втулки" ваговим та лінійним методами. Для підвищення точності експерименту перед дослідженням поверхня зразків була механічно оброблена для підвищення площі контакту з наступним її очищенням. Шлях тертя становив 5000 м.

Обговорення результатів. Для дослідження виникнення явища самоорганізації при терті в полімеркомозитах та оцінки їх триботехнічних характеристик були виготовлені зразки, склад яких поданий в таблиці 1.

Таблиця 1. Склад матеріалу епоксикомпозитних зразків

Основа матриці	Наповнювачі	Вміст наповнювача, мас. ч.
ЕД-20+ПЕПА	CuO	100
	Cu	16
	ВВ	2

З рис. 1 видно, що при питомих навантаженнях 1,0 та 1,2 МПа в інтервалі швидкостей ковзання 1...3 м/с відбувається зниження інтенсивності зношування в 2,5 рази. Це пояснюється тим, що температура в даному швидкісному інтервалі є порівняно невисокою 70...110 °С (рис. 2), і це сприяє протіканню фізико-хімічним перетворенням і формуванню стійкої плівки переносу. Дана плівка забезпечує стабільність процесу тертя за рахунок самоорганізації структури поверхневих шарів. При швидкості ковзання 3,0 м/с на поверхні контртіла видно ділянки сформовані через перенесення іонів міді, а при збільшенні швидкості до 4,0 м/с поверхня зразка насичується в більшій мірі атомами міді і перенесення матеріалу на поверхню контртіла відбувається інтенсивніше.

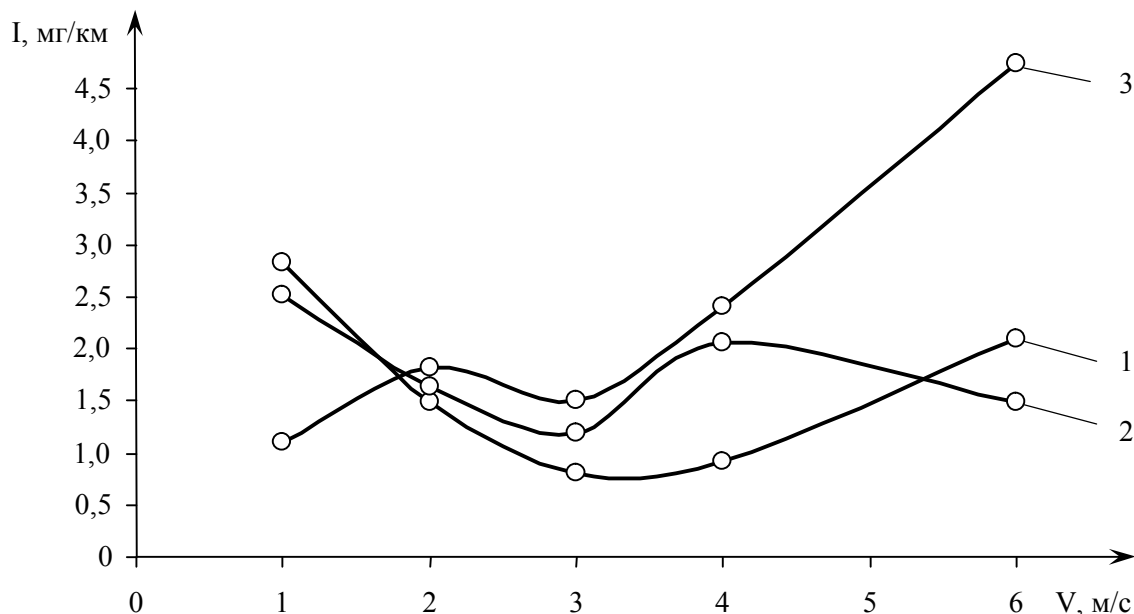


Рис. 1. Залежність інтенсивності зношування матеріалу від швидкості ковзання при питомих навантаженнях: 1 – 1,0 МПа; 2 – 1,2 МПа; 3 – 1,5 МПа

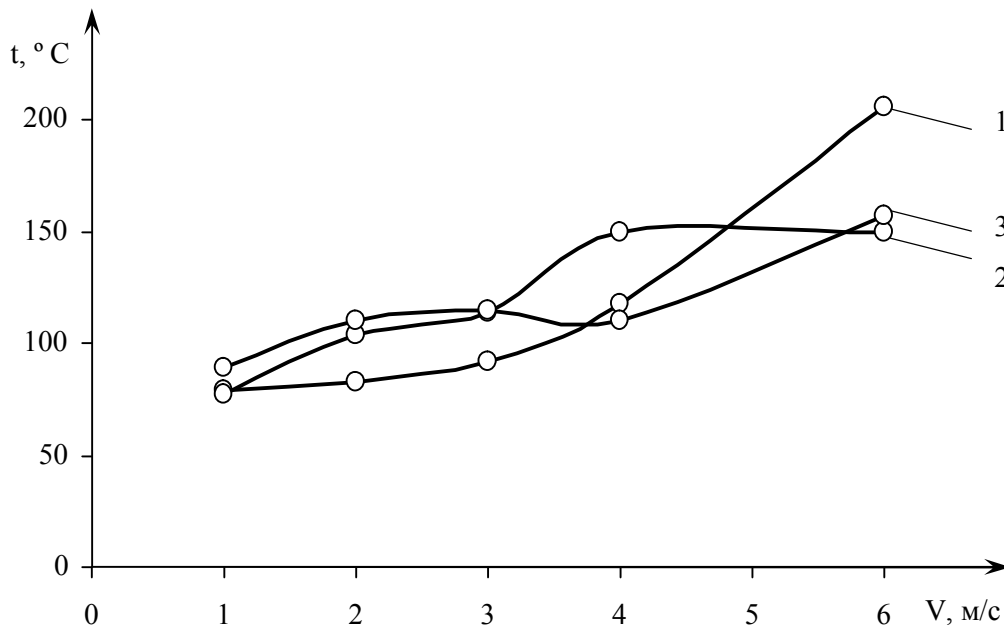


Рис. 2. Залежність температури в зоні трибоконтакту матеріалу від швидкості ковзання при питомому навантаженні: 1 – 1,0 МПа; 2 – 1,2 МПа; 3 – 1,5 МПа

Подальше підвищення швидкості ковзання до 6,0 м/с при питомому навантаженні 1,0 МПа зумовлює підвищення інтенсивності зношування матеріалу в 1,8 раз (2 мг/км), оскільки відбувається різке підвищення температури до 200 °C та коефіцієнта тертя до 0,44 (рис. 3), що перешкоджає утворенню та руйнує вже наявну на поверхнях зразка і контртіла стійку структуру [3].

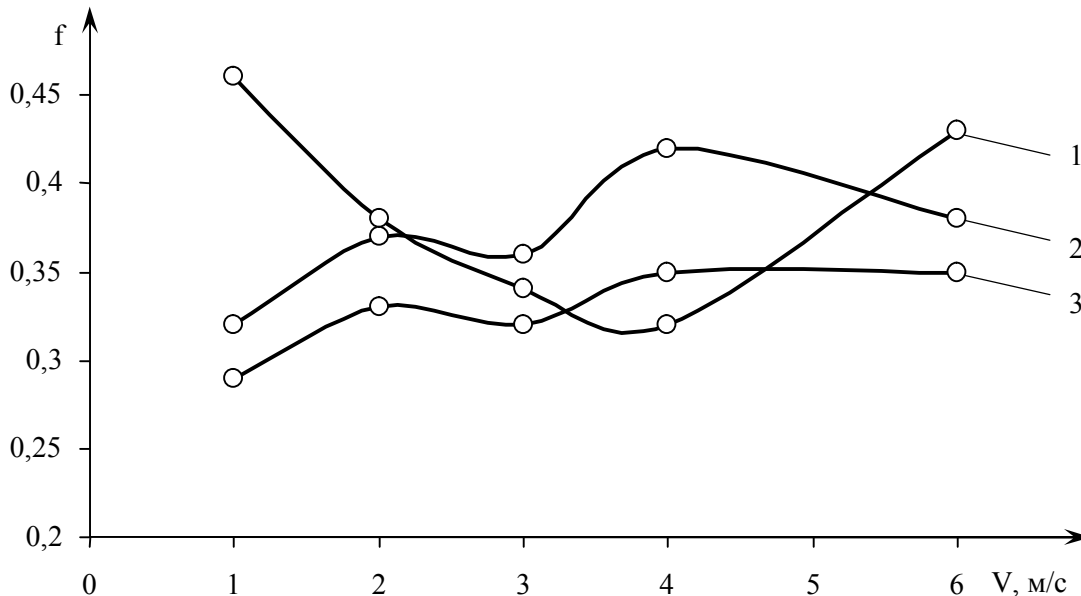


Рис. 3. Залежність коефіцієнта тертя матеріалу складу від швидкості ковзання при навантаженні: 1 – 1,0 МПа; 2 – 1,2 МПа; 3 – 1,5 МПа

Дослідження при питомому навантаженні 1,2 МПа показали, що підвищення швидкості ковзання до 6,0 м/с призводить до стабілізації триботехнічних характеристик, оскільки відбувається незначне зниження інтенсивності вагового зношування, температури в зоні трибоконтакту та коефіцієнта тертя. Це вказує на те, що за даних умов (температура 140...160 °C) відбуваються позитивні фізико-хімічні перетворення пов'язані з утворенням іонів міді, які здатні дифундувати на поверхню контртіла та формувати плівку перенесення, не руйнуючи її [11].

Підвищення питомого навантаження до 1,5 МПа призводить до різкого зростання інтенсивності зношування у 3 рази, що вказує на домінування процесів механічного руйнування епоксиполімерної матриці порівняно з процесами формування плівки перенесення. Такий висновок можна зробити з аналізу температури на поверхні тертя та коефіцієнта тертя, які

вказують на стабільність протікання процесів пов'язаних з формуванням стійкої вторинної структури. Очевидно різке підвищення інтенсивності вагового зношування пов'язано з значною втратою на поверхні епоксикомпозиційного матеріалу частинок міді, утворених в процесі фізико-хімічних перетворень.

Аналіз рис. 2 та рис. 3 показав, що стабілізація температури (70...110 °С) в зоні трибодотакту відбувається в діапазоні швидкостей ковзання 1...3 м/с, що забезпечує зниження коефіцієнта тертя до 0,32 та інтенсивності вагового зношування до 0,8 мг/км. За даних умов відбувається інтенсивне формування плівки перенесення, яка стабілізує триботехнічні характеристики і веде до виникнення самоорганізації в трибовузлі. За вищих швидкостей ковзання починають переважати процеси деструкції епоксиполімерної матриці, оскільки температури зростає до 170 °С, що зумовлює руйнування сегментів макромолекул епоксидного полімеру, а тому перетворення пов'язані з утворенням стійкої до зношування структури не відбуваються [10].

З рис. 4 видно, що інтенсивність зношування епоксикомпозитного матеріалу в інтервалі навантажень 1,2...1,8 МПа знижується, а при збільшенні навантаження до 2,1 МПа зростає із при сталій швидкості ковзання 1,0 м/с. Поступове збільшення навантаження до 1,8 МПа сприяє формуванню мідної плівки переносу, про що вказує зниження інтенсивності зношування в 1,4 рази. При подальших дослідженнях можна зафіксувати смуги, які вказують на формування плівок перенесення. При навантаженнях 1,5 та 1,8 МПа спостерігається інтенсивне протікання фізико-хімічних процесів (відбувається перенесення міді в великій кількості), в результаті яких утворюються вторинні структури на трибоповерхнях.

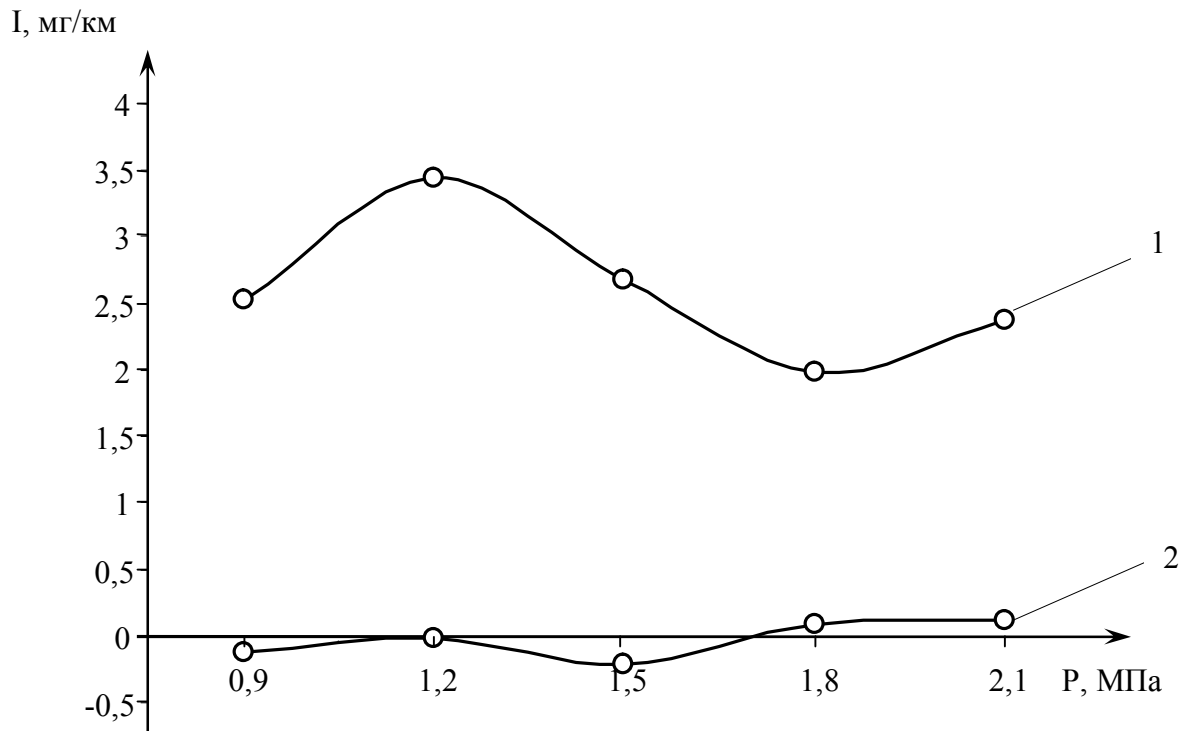
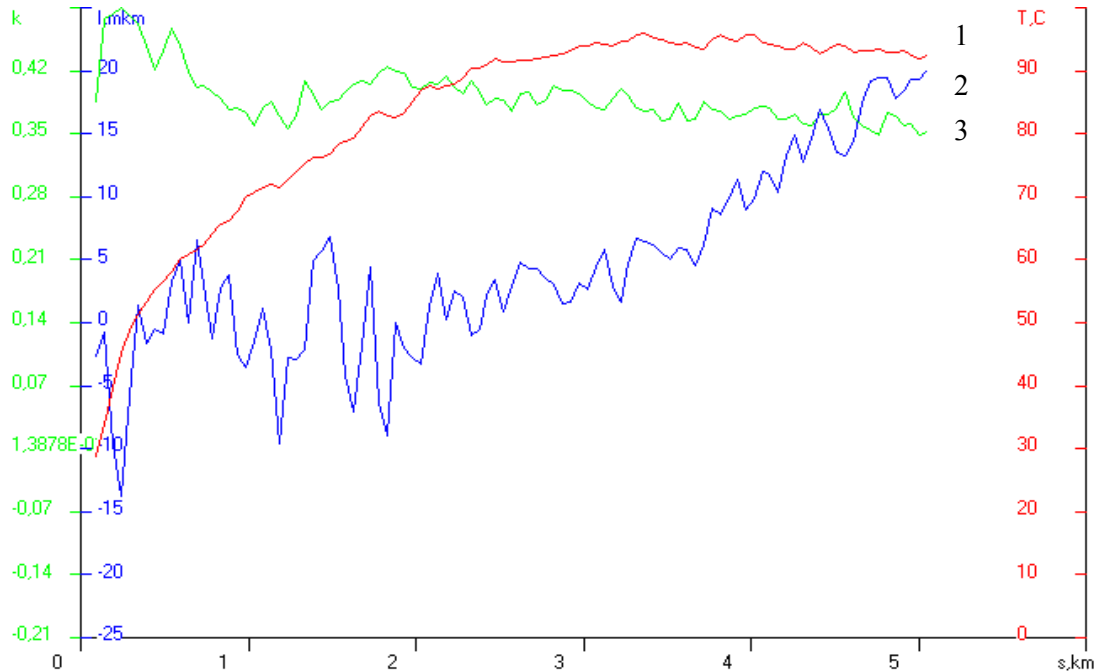


Рис. 4. Залежність інтенсивності зношування зразка (1) та контртіла (2) від питомого навантаження при швидкості ковзання 1,0 м/с

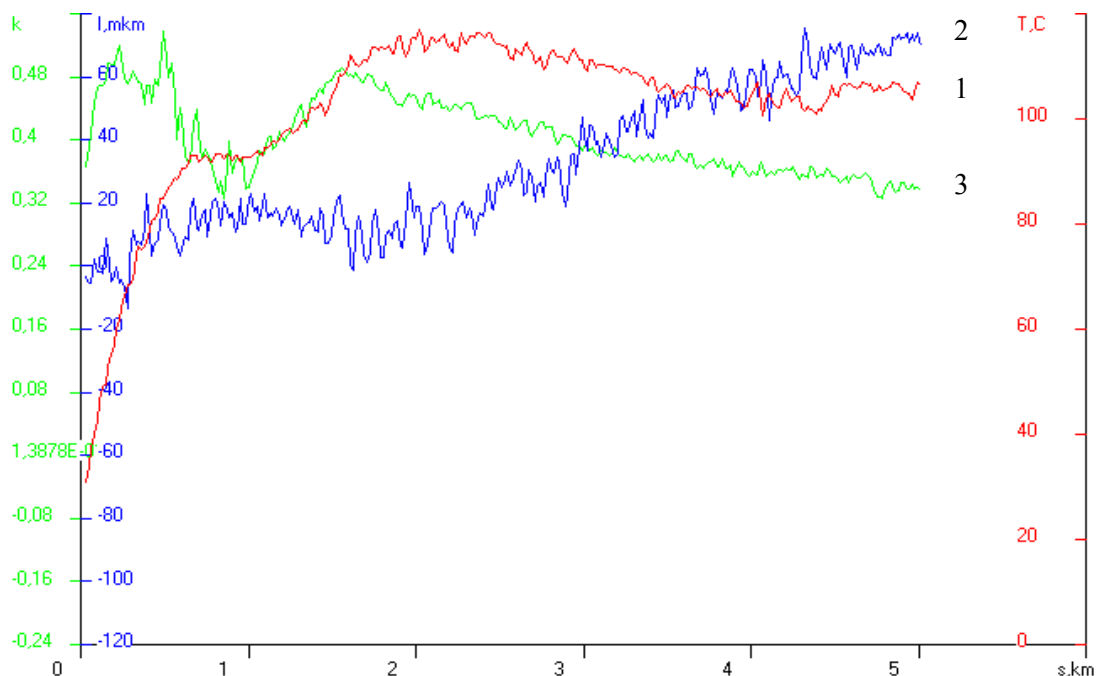
Подальше підвищення даної характеристики до 2,1 МПа призводить до зростання зношування системи, що пов'язано з втратою конструкційної міцності матеріалу. Зниження межі міцності при стисканні, а відповідно і деструкція полімерної складової на поверхні зразка погіршує тепловідведення із зони трибодотакту, що не дозволяє інтенсивно формувати плівку перенесення на поверхню контртіла і призводить до катастрофічного зношування системи.

Виявлено, що крива залежності інтенсивності зношування контртіла при даному дослідженні має антибатний характер. Це свідчить про те, що зниження маси епоксикомпозитного зразка пов'язане із перенесенням матеріалу на контртіло та формуванням стійкої структури на обох поверхнях та встановленням режиму вибіркового перенесення [11].

Аналіз динаміки зміни триботехнічних характеристик (рис. 5) вказує на особливість моменту, що при кожній зміні умов тертя спочатку спостерігається незначне підвищення коефіцієнта тертя та температури в зоні трибоконтакту. Дослідження показали, що з часом (після 1,5...2 км) дані параметри стабілізуються, оскільки відбувається припрацювання трибосистеми до жорсткіших умов фрикційної взаємодії. Однак лінійна інтенсивність зношування є нестабільною величиною протягом всього проміжку тертя, що пов'язано із збільшенням температури в зоні трибоконтакту, та зростає через перенесення частини матеріалу на контртіло.



а



б

Рис. 5. Динаміка зміни температури в зоні трибоконтакту (1), лінійної інтенсивності зношування (2) та коефіцієнта тертя (3) на проміжку 5000 м фрикційної взаємодії при навантаженні 1,0 МПа і швидкості ковзання 3,0 м/с (а) та 1,8 МПа і 1,0 м/с (б)

Висновки та перспективи розвитку. Отже, явище фрикційного переносу при навантаженні тертям є важливим механізмом забезпечення надійності та довговічності функціонування пар тертя. Створення умов, що забезпечують реалізацію даного явища є важливим аспектом отримання композиційних матеріалів з комплексом керованих властивостей.

Створення нових матеріалів, які здатні реалізувати ефект вибіркового перенесення є важливим завданням для формування стійких структур, що здатні до самоорганізації та стабілізації процесу трибовзаємодії.

1. Зайцев А. Л. О фрикционном взаимодействии некоторых полимерных материалов с твердым сплавом / А. Л. Зайцев, П. В. Сысоев // Трение и износ. – 1987. – Т. 8. – № 2. – С. 348-353.
2. Золоторева В. В. Исследование истирания эпоксидных композиций / В. В. Золоторева, В. А. Липская, Ю. С. Кочеггин // Матеріали 25-ї міжнародної науково-практичної конференції. – Київ: УЩ “Наука. Техніка. Технологія”. – 2005. – С. 312-314.
3. Кашицкий В. П. Трибологичні процеси та структурні перетворення в поверхневих шарах полімеркомпозитів при навантаженні тертям / В. П. Кашицкий, П. П. Савчук, О. Л. Садова // Проблеми трибології – Хмельницьк, 2011. – №4 (62). – С. 103-107.
4. Богданович П. Н. Тепловые процессы в зоне контакта трущихся тел / П. Н. Богданович, В. Н. Белов // Трение и износ. – 1992. – №4. – Т. 13. – С. 624-632.
5. Мышко В. И. Исследование износостойкости высоконаполненных медью полимерных композиций / В.И. Мышко, Я.В. Кочетова // Композиционные полимерные материалы. – 1981. – № 9. – С. 12-18.
6. Триботехнические характеристики полимерных композитов, армированных волокнистыми структурами / А. И. Юга, Т. В. Грудина, В. М. Волкогон [и др.] // Порошковая металлургия. – 2004. – №9-10. – С. 32-37.
7. Денисов Л. М. Подшипники скольжения с безызычным режимом трения. Трибоника: [учеб. пособие] / Денисов Л. М. – Иркутск: ИПИ, 1982. – 88 с.
8. Особливості зношування модифікованих епоксидних композитів при навантаженні тертям / [П. П. Савчук, А. Г. Косторнов, В. П. Кашицкий, О. Л. Садова] // Порошкова металлургия. – 2014. – №. 3/4 – С.103-109.
9. Савчук П. П. Особливості застосування епоксидних композиційних матеріалів у триботехніці / П.П. Савчук // Проблеми трибології. – 2008. – № 4 (50). – С. 120-125.
10. Букетов А. В., Стухляк П. Д., Кальба Є. М. Фізико-хімічні процеси при формуванні епоксикомпозитних матеріалів. – Тернопіль: Збруч, 2005. – 182 с.
11. Савчук П. П. Наукові передумови та світова практика реалізації явища “вибіркового перенесення” в полімеркомпозитах при навантаженні тертям / П. П. Савчук, В. П. Кашицкий, О. Л. Садова // Наукові нотатки. – Луцьк, 2011. – С. 236-240.

Стаття надійшла до редакції 30.09.2014.

Рецензенти:

Савчук П. П. – д.т.н., проф., зав. кафедри матеріалознавства та пластичного формування конструкцій машинобудування Луцького НТУ.

Гулай Л. Д. – д.х.н., проф., зав. кафедри екології та охорони навколишнього середовища СНУ ім. Лесі Українки.