

УДК.621.891

П.Савчук, канд. тех. наук; В. Кашицький

Луцький державний технічний університет

В.Габрусєв, канд. фіз.-мат. наук

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ТРИБОТЕХНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕПОКСИПОЛІМЕРІВ І ФТОРОПЛАСТУ

Проведено порівняльний аналіз досвіду застосування фторопластів і епоксиполімерів у триботехніці. Експериментально досліджено вплив навантажувально - швидкісних параметрів на зносостійкість досліджуваних матеріалів та визначено допускові режими їх роботи в умовах сухого тертя.

Умовні позначення

P - питоме навантаження;

v - швидкість ковзання;

f - коефіцієнт тертя.

За статистичними даними [1], майже 80% причин виходу з ладу обладнання припадає на передчасне зношування його рухомих спряжень. Це свідчить про гостру необхідність створення нових високоефективних способів захисту від зношування. Одним з шляхів розв'язання цієї проблеми є формування на робочих поверхнях зносостійких покриттів за рахунок використання полімеркомпозиційних матеріалів та забезпечення позитивного градієнту механічних властивостей поверхонь взаємодії [1,2].

Ефективним триботехнічним матеріалом, що широко використовується у світовій практиці, є фторопласт, з винятковою властивістю - рівновагою статичного та динамічного коефіцієнтів тертя. Для політетрофторетилену характерний низький коефіцієнт тертя в широкому діапазоні температур - від криогенних до 250⁰С. Однак за рахунок нестабільних фізико-механічних характеристик при фрикційній взаємодії відбувається інтенсивна деформація поверхневих шарів матеріалу та суттєва зміна його розмірів. Внесення до складу фторопласту як наповнювачів графіту, дисульфиду молібдену, нітриду бору, порошоків свинцю і срібла, вугле- та скловолокна призводить до підвищення його зносостійкості та теплопровідності [1].

Особливий технічний та економічний інтерес має розв'язання проблеми шляхом створення зносостійких реактопластів із заданими трибологічними властивостями на основі освоєних промисловістю недефіцитних олігомерних в'язучих. Використання епоксидних олігомерів для формування тонкошарових покриттів дозволяє суттєво знизити теплову напруженість у зоні тертя і розширити температурний інтервал роботи покриття при збереженні високої зносостійкості [3,4].

Відомо [5], що вплив швидкості ковзання на зношування сітчастих полімерів виявляється через зміну температури на поверхні тертя. При швидкостях менших за 10² м/с і тискові 0,5 МПа зношування має втомний характер і від швидкості практично не залежить. При зростанні швидкості підвищується тепловиділення у зоні тертя, збільшується температура полімеру. Внаслідок цього у поверхневих шарах відбуваються деструктивні процеси, що зумовлюють збільшення адгезійної складової тертя з одного боку і механо-хімічне зношення поверхні металевого контртіла. При цьому температура і її розподіл на об'ємі сіткового полімеру є основною причиною його руйнування при терті. Тому полімеризовані олігомери з низькою температурою скловання характеризуються низькою граничною зносостійкістю.

Для збільшення навантаження, швидкості ковзання, опору зношуванню термореактивних полімерних матеріалів у них також вносять наповнювачі. Тому в даній роботі, окрім дослідження властивостей ненаповненої епоксидної смоли, випробувано епоксиполімери, наповнені графітами.

Об'єктами досліджень вибрано фторопласт-4 та епоксидно-діановий олігомер марки ЕД-16, для затверднення якого використовували низькотемпературний твердник амінного класу – поліетиленполіамін. З метою зменшення модуля пружності і в'язкості при формуванні до її складу вносили аліфатичну смолу -дигліциділовий ефір диетиленгліколю. Як наповнювачі використовували дисперсні порошки (10-60 мкм) лускатого (ЛГ) і силіційованого (СГ) графітів.

Структуру матеріалу досліджували на металографічному мікроскопі МІМ-8, а також рентгенівським методом на спектрометрі СРМ-25. Спектр знімали на рентгенівській трубці ЗРХВ2-Rh при режимі роботи 50 кV, 40 mA.

Антифрикційні дослідження виконували на машині тертя СМЦ-2 і на дисковій машині в умовах сухого тертя відповідно до методики [6]. Суть методу в тому, що зразок із досліджуваного матеріалу у вигляді колодки встановлюють на циліндричну

поверхню металевого ролика, який обертається із заданою швидкістю, та шляхом ступінчастої зміни нормального навантаження на зразок і частоти обертання ролика визначають сукупність комбінацій швидкостей і навантажень, при яких досягається граничний режим роботи пар тертя при швидкості зношування досліджуваного матеріалу 25 мкм за 100 годин роботи. Інтенсивність зношування при цьому визначають як відношення товщини зношеного шару до шляху тертя. На дисковій машині тертя відбувалося на торцевій поверхні зразка у вигляді кільця, а на СМЦ-2 – за схемою диск-колодка при діаметрі контртіла 39 мм. Як контртіло застосовували сталь 45 (HRC=45-48; $R_a=0,25$ мкм).

У результаті досліджень епоксидного олігомеру при мінімальних швидкостях та навантаженнях ($v=0,115$ м/с, $P=0,25$ МПа) встановлено, що при даному режимі роботи переважає абразивне спрацювання поверхні тертя досліджуваного матеріалу. Абразивне зношування підтверджується наявністю в продуктах зношування частинок витягнутої ниткоподібної форми з утворенням на поверхні тертя смуг ковзання. При підвищенні питомого навантаження до 0,5 МПа інтенсивність зношування зростає. Це пояснюється збільшенням глибини відносного проникнення твердих частинок мікронерівностей контртіла та зрізуванням більш товстих шарів полімеру при абразивному спрацюванні поверхні тертя. Абразивне зношування не виключає можливості впливу на руйнування матеріалу зношування-втоми, що завжди наявна при фрикційній взаємодії контактуючих тіл [5]. Відсутність ознак втомного руйнування при невеликих навантаженнях і швидкостях пояснюється пластичними деформаціями поверхневого шару досліджуваного матеріалу. Процеси втомного спрацювання починають переважати абразивне спрацювання при тиску 1 МПа. Матеріал не в змозі чинити опір змінним навантаженням внаслідок зменшення сил міжмолекулярної взаємодії, що призводить до появи дефектів структури, існування яких підтверджується методом рентгеноспектрального аналізу. В міру нагромадження розривів зв'язків у процесі тертя зростають напруження на сусідніх, менш напружених зв'язках і створюються умови для їх розриву. В результаті у полімері виникають мікродефекти, інтенсивність появи яких визначається співвідношенням ймовірностей розривів і рекомбінації зв'язків у деформованому матеріалі та їх типом. Розриви зв'язків можуть самоліквідуватися, однак при багатократному циклічному навантаженні ймовірність появи нових дефектів (руйнування зв'язків) переважає ймовірність їх рекомбінації. Настає друга стадія процесу руйнування. На поверхні тертя з'являються тріщини, що поширюються перпендикулярно до вектора швидкості ковзання контртіла (рис.1), аналогічно до результатів, отриманих П.Н. Богдановичем [5]. При низьких значеннях коефіцієнта тертя частинки зношування утворюються внаслідок сколювання матеріалу на краях мікротріщин.

При мінімальному питомому навантаженні, але вищих швидкостях ковзання, стан поверхні тертя й інтенсивність зношування майже не відрізняються від результатів, отриманих при мінімальних швидкісно-навантажувальних параметрах. Подальше підвищення навантаження супроводжується зростанням інтенсивності зношування. Режим навантаження, що відповідає вищим значенням питомого навантаження ($P>0,5$ МПа), призводить до реалізації третьої стадії зношування, при якій біля утворених мікротріщин формуються вторинні мікротріщини аналогічно до первинних, що підтверджується методом оптичної мікроскопії. Імпульсний вплив механічного, а особливо теплового навантаження, створює умови для утворення в поверхневому шарі ділянок зниженої міцності – потенційних зон руйнування. Утворені тріщини, невимушено зростаючи, стають поступово магістральними. Наближення і злиття новоутворених тріщин з наявними зумовлює викришування матеріалу.

Досліджуючи особливості зношування фторопласту, слід відзначити, що при низьких швидкостях ковзання кінетика руйнування поверхонь тертя термопластів та реактопластів суттєво не відрізняється. Із зростанням швидкості ковзання збільшується теплове навантаження на контакт. Поверхневі тріщини будуть розміщуватися менш зорієнтовано, а в кристалічних полімерах руйнування відбуватиметься на границях

кристалів. При більших швидкостях реалізується локальний механізм зношування термопластів з виникненням світлих, так званих «гарячих плям» [1] як результат температурних спалахів у мікронах фактичного контакту (рис.2). При цьому одночасно відбувається втомне руйнування поверхні тертя і в областях, що прилягають до даних плям.

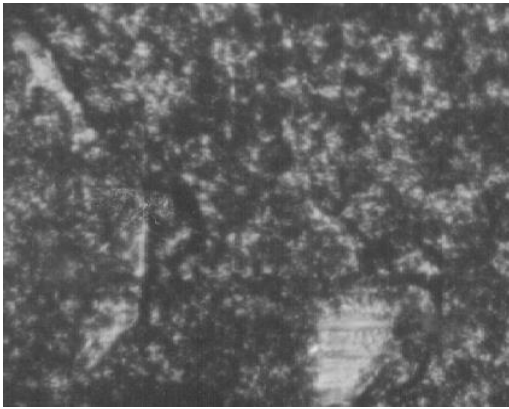


Рис. 1

Рис.1.Характер руйнування поверхні епоксиполімеру.

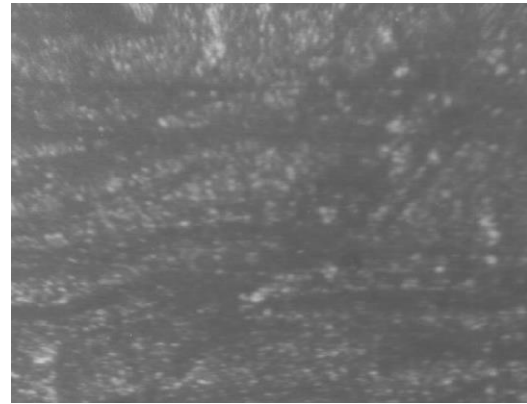


Рис. 2

Рис.2.Структура поверхневого шару фторопласту при локальному механізмі зношування.

На нашу думку, отримані результати свідчать про можливість одночасного протікання у зоні тертя двох взаємозв'язаних процесів руйнування поверхневого шару матеріалу, що підлягає зношуванню. Перший з них є викликаною імпульсним нагріванням деструкцією матеріалу на локальних ділянках фрикційного контакту. Другий процес — це втомне руйнування, що поширюється навколо плям фактичного контакту на значні області поверхні тертя. Роль першого процесу в зношуванні стає суттєвішою із збільшенням швидкості ковзання.

Криві в координатах “ $P-v$ ” на рис. 3 демонструють потенційні можливості досліджуваних матеріалів. Як видно з рисунку, значення функцій тиску спадають прямо пропорційно зростанню швидкості ковзання як для фторопласту, так і для епоксиполімерів. Слід відзначити, що при невеликих швидкостях (до 0,6 м/с) наповнена епоксидна смола витримує більші питомі навантаження, ніж ненаповнена. Граничні режими роботи фторопласту дещо вищі, ніж епоксиполімерів. Однак спрямоване внесення в епоксиполімер наповнювачів, що виконують армуючу і мастильну функції (типу силіційований графіт та ін.) суттєво підвищує фрикційні характеристики епоксикомпозиту та його конкурентоспроможність.

Таким чином, у результаті порівняльного аналізу і експериментальних досліджень епоксиполімерів і фторопласту відзначимо таке:

1. Переважання абразивного спрацювання поверхні тертя епоксиполімерів при $Pv \leq 0,025$ МПа · м/с і втомного спрацювання при $P \geq 1$ МПа.
2. Тристадійний характер зношування епоксиполімерів, реалізація яких залежить від величини Pv .
3. Подібність кінетики зношування та руйнування досліджуваних матеріалів при низьких швидкостях ковзання і реалізації локального механізму зношування термопласту при $v \geq 0,75$ м/с.
4. Визначено потенційні триботехнічні можливості розроблених полімеркомпозитів і фторопласту.

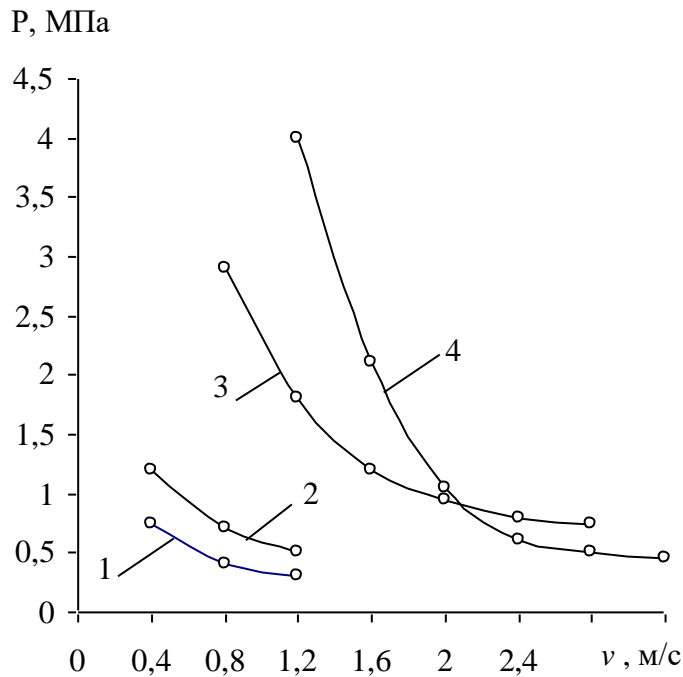


Рис.3

Рис.3 Граничні режими роботи однокомпонентної епоксидної смоли (1), ЕД+ЛГ (2), ЕД+СГ (3) та політетрафторетилену (4).

The comparative test of the experience of epoxy polymer and fluoroplastic usage in tribomechanics has been done. The influence of loading and speed ratings upon wear – resistance of tested materials has been studied and their acceptable modes of operation in the conditions of dry friction has been determined.

Література

1. Богданович П.Н., Прушак В.Я. Трение и износ в машинах: Учеб. для вузов.- Мн.: Выш. шк., 1999.- 374с.
2. Белый В.А., Свериденко А.И. Актуальные направления развития исследований в области трения и изнашивания // Трение и износ.- 1987.- Т.8.- №1.- С.5-25.
3. Стухляк П.Д. Эпоксидные композиты для защитных покрытий.- Тернопіль: Збруч, 1994.- 177с.
4. Крыжановский В.К. Износостойкие реактопласты. – Л.: Химия, 1984.- 120с.
5. Богданович П.Н. Особенности изнашивания эпоксидных полимеров // Трение и износ.- 1988.- Т.9.- №6.- С1000-1006.
6. Обеспечение износостойкости изделий. Метод оценки триботехнических свойств материалов на основе полимеров. – М.: ВНИИНМАШ, 1982. – 13 с.

Одержано 01.02.01 р.