

УДК 621.763

В. П. КАШИЦЬКИЙ, О. Л. САДОВА, П. П. САВЧУК

Луцький національний технічний університет, Луцьк

## ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ЕПОКСИКОМПОЗИТНОГО МАТЕРІАЛУ ТРИБОТЕХНІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

*Приведені результати досліджень інтенсивності зношування оптимізованих епоксикомпозитних матеріалів (ЕКМ). Проведено аналіз структур даних матеріалів після триботехнічних випробувань. Подано склади сформованих ЕКМ та оцінено доцільність їх оптимізації. Проаналізовано результати та обґрунтовано перспективи подальших досліджень.*

**Ключові слова:** епоксикомпозитний матеріал, термічна обробка, зносостійкість, інтенсивність зношування.

**Вступ.** Питання тертя та зношування завжди є актуальними. Останніми роками в триботехніці все частіше використовуються композиційні матеріали, зокрема, на основі епоксидних смол. Застосування полімерних матеріалів в даній галузі обумовлено їх низькою вартістю в поєднанні з високими триботехнічними характеристиками.

**Постановка завдання.** Дана робота містить комплекс досліджень по вдосконаленню складу ЕКМ триботехнічного призначення. Для здешевлення композиційного матеріалу було повністю або частково замінено порошок оксиду міді (CuO) на порошки заліза та оксиду алюмінію [1–3]. При цьому, необхідно було забезпечити високу конструкційну міцність матеріалу, низький коефіцієнт тертя та високу зносостійкість при навантаженні тертям.

**Мета роботи** – встановлення впливу складу ЕКМ на триботехнічні характеристики та оцінка доцільності заміни порошку оксиду міді на дешевші матеріали.

**Методика досліджень та обговорення результатів.** В якості матриці при створенні ЕКМ (склад подано в таблиці) використано епоксидно-діанову смолу марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84) та твердник поліетиленполіамін (ПЕПА) (ТУ 6-05-241-202-78). Для армування композиції використано комплекс наступних наповнювачів: порошки оксиду міді (CuO), оксиду алюмінію (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), міді, заліза та подрібненого вуглецевого волокна.

Приготування композиції розпочинали із механічного вимішування попередньо просушених наповнювачів з епоксидною смолою та твердником у вибраному стехіометричному співвідношенні. Композицію заливали у спеціальну форму з поперечним перерізом 10×10 мм. Тверднення епоксикомпозитів тривало 24 год. при нормальних умовах. Додаткову термічну обробку здійснювали у печі, відхилення температури в якій не перевищувало ±2 °С. Для уникнення високих залишкових напружень для зразків застосовано ступінчастий режим, який полягав у нагріві до температур 50 °С та 100 °С з витримкою по 1 год., далі – до 140 °С з витримкою 4 год.

Зносостійкість визначали на лабораторній установці за схемою «вал – сегмент втулки» ваговим методом. Для підвищення точності експерименту перед дослідженнями поверхню зразків механічно оброблювалась для збільшення площі контакту з наступним її очищенням. Шлях тертя становив 3 км, швидкість ковзання – 1,21 м/с, питома навантаження – 1,0 МПа.

Метолографічні дослідження епоксикомпозитів проводили на металографічному мікроскопі МІМ-10 при збільшенні ( $\times 250$ ).

Таблиця

Склад епоксикомпозитів

№ композиції	Склад полімерного зв'язуючого	Наповнювачі, мас. ч.	Вміст наповнювача, мас. ч.
1	ЕД-20 + ПЕПА	CuO	100
		Вуглецеве волокно	2
		Cu	16
		Fe	50
2	ЕД-20 + ПЕПА	CuO	100
		Вуглецеве волокно	2
		Cu	16
		Fe	70
3	ЕД-20 + ПЕПА	CuO	100
		Вуглецеве волокно	2
		Cu	16
		Оксид алюмінію	50
4	ЕД-20 + ПЕПА	CuO	100
		Вуглецеве волокно	2
		Cu	16
		Оксид алюмінію	30
5	ЕД-20 + ПЕПА	Fe	100
		Вуглецеве волокно	2
		Cu	16
		Оксид алюмінію	50
6	ЕД-20 + ПЕПА	Fe	100
		Вуглецеве волокно	2
		Cu	16
		Оксид алюмінію	30

З рис. 1 видно, що зразок № 1 має нижчу інтенсивність зношування, ніж зразок № 2. Це пояснюється більшим вмістом порошку заліза в зразку № 2, в результаті чого утворюється більша кількість агломерованих часток у композиті, що знижує його конструкційну міцність. Велика інтенсивність зношування при цьому обох зразків пов'язана з надлишковим вмістом порошку заліза в композиті, що супроводжується інтенсивним руйнуванням поверхневого шару в процесі трибозаємодії.

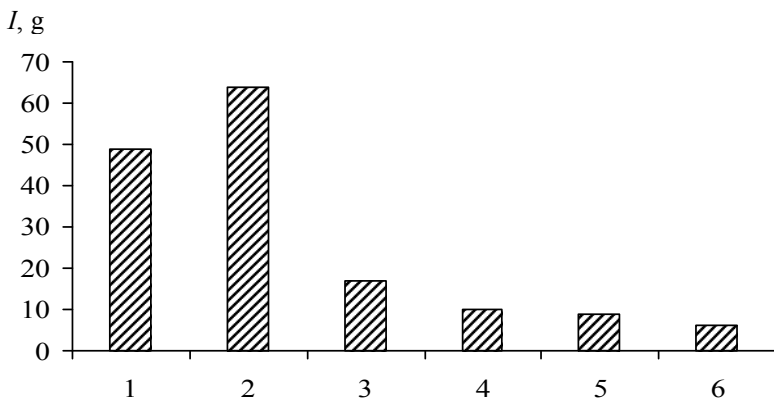


Рис. 1. Інтенсивність вагового зношування зразків

Експериментально встановлено, що епоксикомпозит, наповнений  $Al_2O_3$  в кількості 30 мас. ч. (рис. 1, зразок № 4) має кращі триботехнічні характеристики у порівнянні із зразком №3.

Для здешевлення матеріалу було проведено заміну порошку оксиду міді на порошок заліза (зразки № 5 і № 6). Отримані результати показали, що інтенсивність зношування даних зразків не вища, ніж зразків, наповнених оксидом міді. Конструктивна міцність при цьому забезпечується високим ступенем наповнення системи та вмістом порошку оксиду алюмінію.

За результатами аналізу мікроструктур встановлено, що наповнювачі в епоксисистемі мають округлу форму різних розмірів (рис. 2). В об'ємі матриці вони розподілені нерівномірно. Після трибологічних досліджень спостерігаються повздовжні подряпини по всій поверхні трибоконтакту в напрямку руху ковзання. Поява таких подряпин вказує на інтенсифікацію процесів мікрорізання при терті.

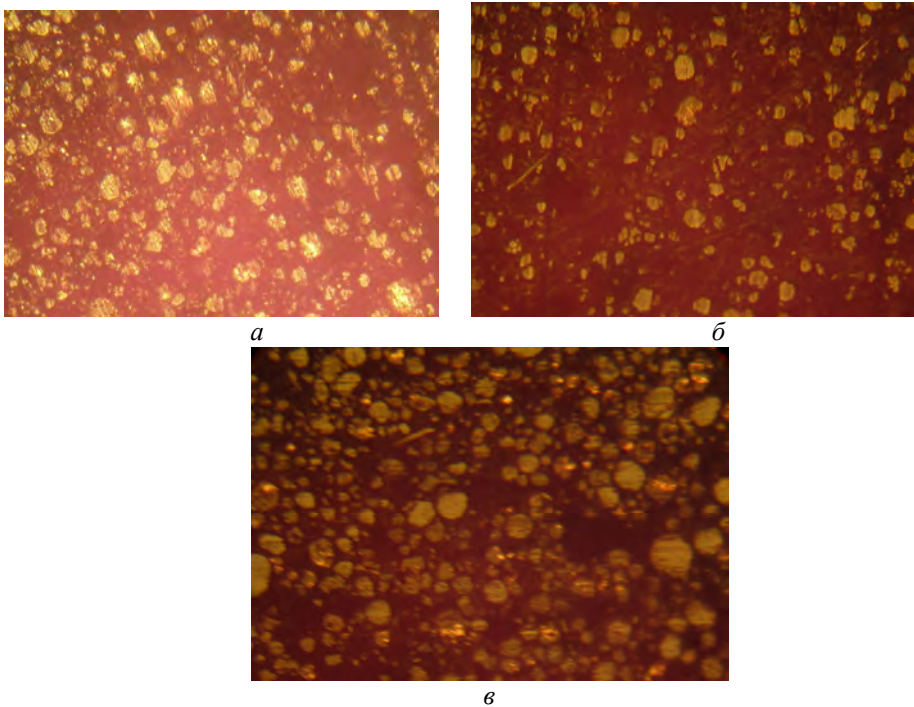


Рис. 2. Мікроструктури поверхні трибоконтакту зразків,  $\times 250$ :  
*a* – № 1; *б* – № 4; *в* – № 5

Для композиту з високим вмістом оксиду міді (зразок № 2) окрім подряпин характерним є викришування поверхні, яке проявляється у вигляді впадин хаотичної форми із нерідко пошкодженими береговими лініями, що вказує на підвищення інтенсивності зношування, зокрема через втрату поверхневим шаром міцності в процесі навантаження тертям.

Аналіз мікроструктур показав, що при введенні в систему оксиду міді в структурі спостерігаються включення дрібних частинок різного розміру, що мають округлу форму та нерівномірно розподіленні по всьому об'єму (рис. 2). Для епоксикомпозитних зразків з оксидом міді характерне утворення повздовжніх подряпин по всій поверхні контакту в напрямку руху ковзання. Поява таких подряпин вказує на реалізацію механізму абразивного зношування.

Введення в епоксиполімер порошку заліза (рис. 2, в) призвело до утворення у всіх зразках агломератів, різних за розмірами включень круглої форми з нечіткими береговими лініями.

**Висновки.** Експериментально встановлено, що найнижча інтенсивність зношування спостерігається для зразка №5 за рахунок оптимального ступеня зшивання і наповнення ЕКМ. Позитивні результати досліджень свідчать про можливість прогнозованої заміни інгредієнтів такого роду системи. Тому подальші дослідження будуть спрямовані на вдосконалення складу ЕКМ для забезпечення максимальної конструкційної міцності та низького коефіцієнту тертя.

#### Список літератури

1. Кашицький В.П. Трибологічні процеси та структурні перетворення в поверхневих шарах полімеркомпозитів при навантаженні тертям. / В.П. Кашицький, П.П. Савчук, О.Л. Садова // Проблеми трибології. – Хмельницьк, 2011. – №4 (62). – С. 103–107.

2. Садова О.Л. Оптимізація складу антифрикційних епоксикомпозитів для підсилення процесів самоорганізації при трибоконтакті / О.Л. Садова, В.П. Кашицький, П.П. Савчук, Р.Г. Редько // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2012): Збірка матеріалів IV Міжнародної науково-практичної конференції. У 2-х тт. Т.2. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2012. – С. 117–118.

3. Савчук П.П. Дослідження процесів вибіркового перенесення в епоксикомпозитах триботехнічного призначення / П.П. Савчук, В.П. Кашицький, О.Л. Садова, Н.Л. Плєскот // Фізика і хімія твердого тіла. Стан, досягнення і перспективи: Матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених та студентів, 19–20 жовтня 2012 р., м. Луцьк. – Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2012. – С. 18–20.

Стаття надійшла до редакції 20.09.2013

*V. KASHYTSKYI, O. SADOVA, P. SAVCHUK*

#### THE COMPOSITION OPTIMISATION OF TRIBOTECHNICAL PURPOSE EPOXYCOMPOSITE MATERIAL

Composites based on resin epoxy often used in tribotechnology nowadays. Polymeric materials used in this branch because of their low cost and high tribotechnical characteristics. The uses of polymers in this branch can improve corrosion resistance of friction pair, reduce its weight and eliminates the need for lubrication. The main task here is to provide high structural strength of material, low coefficient of friction and high wear by friction.

The results of research of intensity of wear of optimized epoxycomposite materials (ECM) are shown in the article. The analysis of structures of these materials after tribotechnical testing conducted. The compositions of formed ECM are presented and the feasibility of their optimization is evaluated. The results are analyzed and the prospects further research are substantiated.

**Key words:** epoxycomposite material, heat treatment, wearproofness, intensity of wear.

**Кашицький Віталій Павлович** – канд. техн. наук, доцент кафедри матеріалознавства та пластичного формування конструкцій машинобудування Луцького національного технічного університету, kashickij@ya.ru.

**Садова Оксана Леонідівна** – аспірант кафедри матеріалознавства та пластичного формування конструкцій машинобудування Луцького національного технічного університету.

**Савчук Петро Петрович** – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри матеріалознавства та пластичного формування конструкцій машинобудування Луцького національного технічного університету, savchuk71@gmail.com.