УДК 621.891
В.П.Кашицький, П.П. Савчук, О.П. Киселюк, О.О. Клименко, О.О.Дуда
Луцький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ФРИКЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БАЗАЛЬТОНАПОВНЕНИХ ПРЕС-КОМПОЗИТІВ

В роботі представлено технологію отримання епоксикомпозитних систем, наповнених базальтовим волокном та CuO для дослідження фрикційних властивостей. Проаналізовано результати досліджень в цій сфері та запропоновано оптимальний склад і режим формування епоксикомпозитів

Ключові слова: *базальтонаповнені епоксикомпозити, межа міцності, структура, фрикційні властивості*

Постановка проблеми. На сьогодні полінаповнені епоксидні композити є перспективним трибологічним матеріалом [1-3]. Вони здатні забезпечувати не лише високу зносостійкість, але й стабільність характеристик протягом тривалого часу в умовах сухого тертя ковзання, впливу агресивного середовища тощо [4, 5]. Основною метою даної роботи було вивчення особливостей формування та фрикційних властивостей полімерних композиційних матеріалів на основі епоксидно-діанової смоли ЕД-20 та комплексу наповнювачів (CuO та базальтове волокно (БВ) різної товщини).

Матеріали і методи досліджень. Формування дослідних зразків полягало в отриманні однорідної композиції до складу якої входили необхідні компоненти. Залежно від об'єму зразків розраховували кількісний вміст інгредієнтів у масових частинах на 100 мас. ч. епоксидно-діанової смоли ЕД-20. Склад композицій у масових частках представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Склад експериментальних композицій

№ композиції	Вміст базальтового волокна, мас. ч.		Вміст CuO, мас. ч.
	Товсте	Супертонке	
1	2	–	50
2	2	–	100
3	2	–	150
4	50	–	150
5	100	–	150
6	150	–	150
7	–	2	2
8	–	2	2
9	–	2	2
10	–	50	50

Після формування композицій епоксидна смола-базальтове волокно-CuO до її складу вводили твердник поліетиленполіамін (ПЕПА) і далі проводили ручне вимішування композиції до досягнення високої однорідності системи.

Тверднення епоксикомпозитів при нормальних умовах тривало 24 год. Термічну обробку здійснювали у печі при 140 ºС, відхилення температури в якій не перевищувало ±2 К.

Дослідження зносостійкості здійснювали на машині тертя СМЦ-2 за схемою "вал-сегмент втулки" в умовах сухого тертя. Зразок встановлювали на циліндричну поверхню металевого контртіла, яке оберталося із заданою швидкістю. Контртіло виготовляли у формі диска із сталі 45 (ГОСТ 1050-74) діаметром 50 мм з шорсткістю поверхні Ra = 3,2. Зразки виготовляли з монолітного матеріалу розміром 10 х 10 мм та висотою 15 мм.

©В.П.Кашицький, П.П. Савчук, О.П. Киселюк, О.О.Клименко, О.О. Дуда

Як характеристику зносостійкості матеріалу вибрано інтенсивність вагового зношування:

$$I_g = \frac{m_1 - m_2}{\Delta L},$$

де m_1, m_2 – маса зразків до і після випробувань, г;
ΔL – шлях тертя, км.

Шлях тертя на початку досліджень становив 1000 м, а швидкість обертання контртіла – 2,3 м/с. Надалі шлях тертя збільшували до 3000 м, а швидкість до 3,6 м/с. Для найстійкіших зразків проводили експеримент третій раз з шляхом тертя 6000 м і швидкістю обертання контртіла 3,6 м/с. Масу зразків визначали на аналітичних лабораторних вагах типу ВЛА-200 з точністю 0,001 г.

Дослідження макро- та мікроструктури епоксикомпозитів здійснювали на оптичному мікроскопі МБС-9 при збільшенні (×100…250).

Міцність при стисканні визначали за ГОСТ 14759-69. Дослідження проводили на розривній машині марки УММ-5 при швидкості переміщення нижньої траверси 2 мм/хв.

Для отримання межі міцності при стисканні отримані результати обробляли за допомогою формули:

$$\sigma_{cm} = \frac{P}{S},$$

де P – навантаження, при якому відбулось руйнування зразка, Н;
S – площа поверхні зразка, м².

Для випробувань використовували зразки площею $78{,}5\times10^{-6}$ м^2

Обговорення результатів. Апріорі встановлено, що введення модифікаторів понад 150 мас. ч. різко погіршує фізико-механічні характеристики епоксидного полімеру (ЕП), тому цей вміст прийняли за граничну межу.

Важливо було оцінити вплив наповнювача CuO на межу міцності при стисканні ЕП, оскільки ця характеристика є важливим параметром при дослідженні фрикційних властивостей композитів.

Експериментально встановлено, що найвища межа міцності при стисканні ($\sigma_{ст}$ = 134,395 МПа) серед наповнених ЕП характерна для епоксидного композиту (ЕК) з вмістом CuO 150 мас. ч. і товстого БВ 100 мас. ч. (рис. 1), що можна пояснити утворенням у матеріалі структурної сітки з оптимальною кількістю вузлів зшивання.

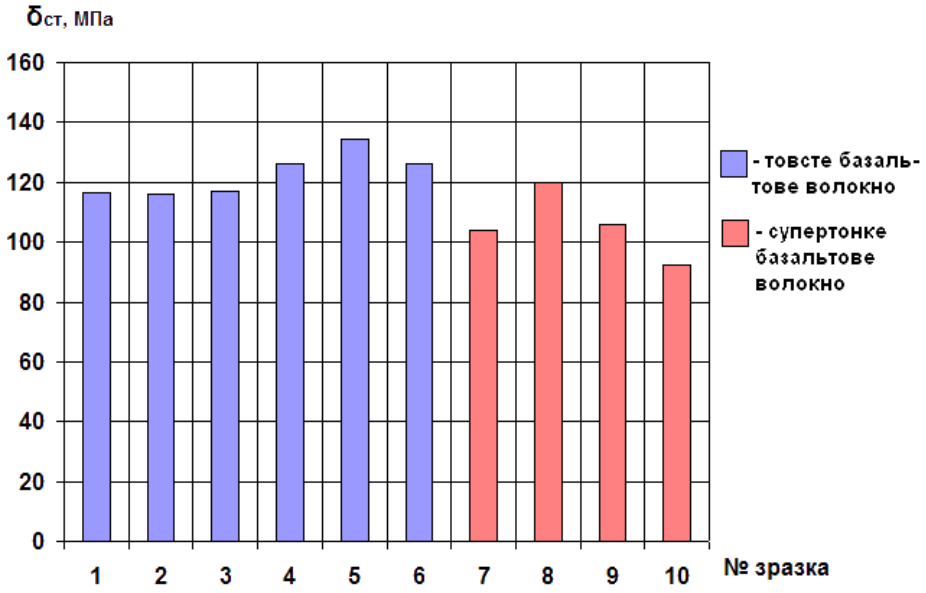


Рис. 1. Межа міцності при стисканні (σ*cm*) для різних композицій

При введенні до складу композиції наповнювачів – товстого БВ в межах 50...100 мас. ч. і CuO в межах 50…100 мас. ч. спостерігається підвищення межі міцності при стисканні ЕК, що пов'язано із підвищенням взаємодії на межі фаз епоксидна матриця-наповнювач. При вищому

©В.П.Кашицький, П.П. Савчук, О.П. Киселюк, О.О.Клименко, О.О. Дуда

вмісті БВ (150 мас. ч.) відбувається зниження міцності при стисканні, що очевидно пов'язано з недостатнім степенем структурування наповненого ЕК.

Введення до складу композиції наповнювача супертонкого БВ у кількості 50 мас. ч. і CuO у кількості 150 мас. ч. призводить до суттєвого зниження межі міцності при стисканні епоксидної матриці (92,357 МПа). Надалі проведено дослідження з більшим вмістом супертонкого БВ (більше 50 мас. ч.) Встановлено, що межа міцності при стисканні ЕК модифікованого супертонким БВ (зразок №8) менша на 20,33 %, ніж ЕК наповненого товстим БВ (зразок №2). Максимальне значення межі міцності при стисканні ЕК наповненого супертонким БВ становить 119,745 МПа, що пов'язано з оптимальною кількістю вузлів зшивання і формуванням системи з мінімальними залишковими напруженнями для супертонкого БВ.

Аналіз поверхні зразків з товстого БВ показав, що оптимальна структура ЕП характерна для зразка №5 (рис. 2), що пояснюється оптимальним складом композиції. Для композицій, які наповнені супертонким БВ, оптимальна структура зафіксована для зразка №9.

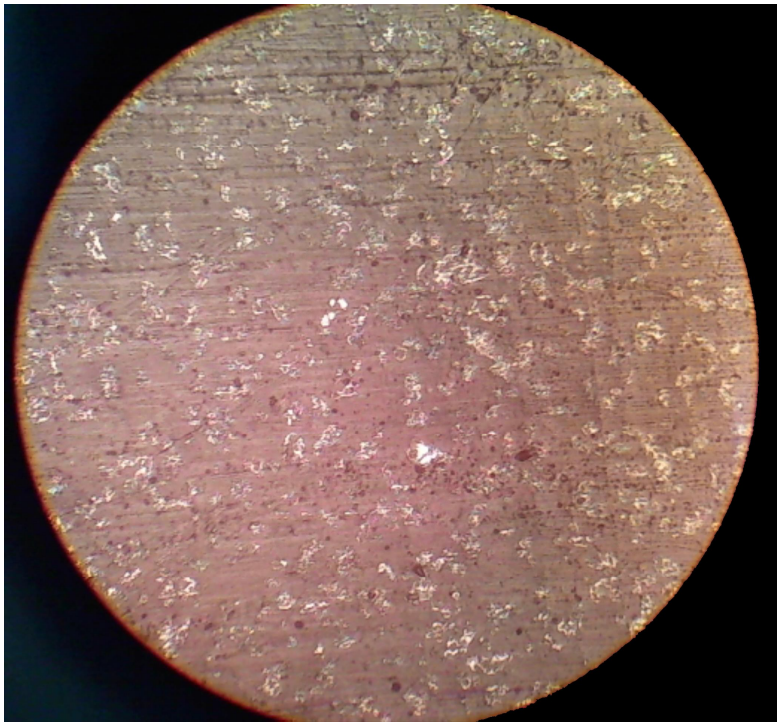


Рисунок 2. Поверхня ЕК наповненого товстим базальтовим волокном і CuO (когезійний розрив)

Найнижче значення інтенсивності вагового зношування (Ig = 4 мг/км) отримано при введенні до складу ЕК товстого БВ у кількості 100 мас. ч. і CuO у кількості 150 мас. ч. (зразок №5). Введення CuO у кількості менше 150 мас. ч. призводить до збільшення інтенсивності вагового зношування через недостатню кількість оксиду міді для утворення поверхневої плівки з низьким опором зсуву. Результати попереднього притирання показано в табл. 2.

Отримані результати дають можливість стверджувати, що збільшення інтенсивності вагового зношування відбувається при введенні товстого БВ понад 100 мас. ч. Для супертонкого БВ не вдалося отримати прийнятні результати при вмісті понад 50 мас. ч. Причиною тому була велика об'ємна частка БВ, а отже погана змочуваність зв'язуючим компонентів композиції.

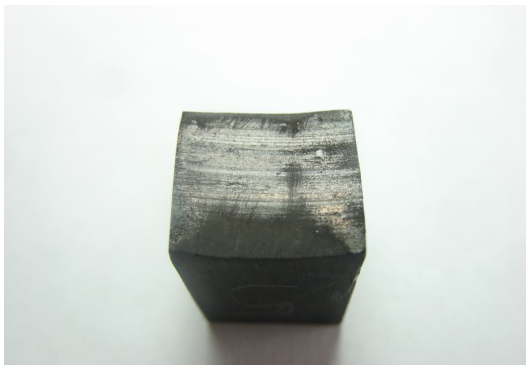
Композиції із вмістом БВ (товстого і тонкого) 2 мас. ч. і CuO 50 і 100 мас. ч. (зразки №1, 2, 7, 8) не витримали попереднього притирання, оскільки вміст наповнювачів був недостатнім (рис. 3). Висока інтенсивність вагового зношування підтверджується значними втратами маси зразків. Для зразка №1 втрата маси складає 61,75 %, для зразка №2 – 41,33 %, для зразка №7 – 60,9 % і для зразка №8 – 54,01 %.

©В.П.Кашицький, П.П. Савчук, О.П. Киселюк, О.О.Клименко, О.О. Дуда

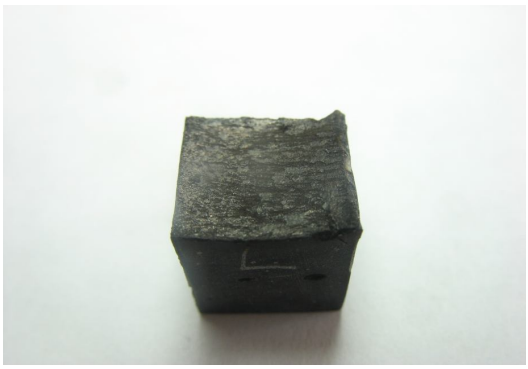
Таблиця 2

Залежність інтенсивності вагового зношування від вмісту наповнювачів

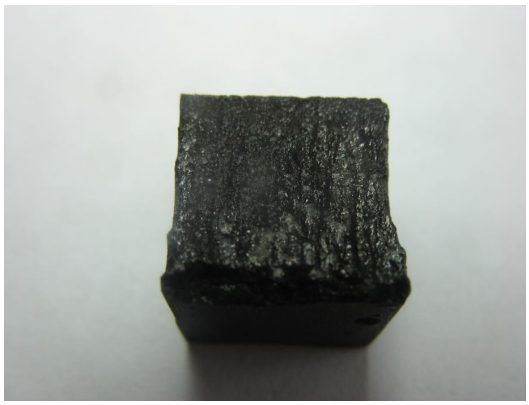
№ зразка	Вміст базальтового волокна, мас. ч.		Вміст CuO, мас. ч.	m_1, мг	m_2, мг	Ig, мг/км
	товсте	супертонке				
1	2	–	50	2170	1340	830
2	2	–	100	1725	713	1012
3	2	–	150	3460	3440	20
4	50	–	150	3250	3245	5
5	100	–	150	3170	3166	4
6	150	–	150	2840	2835	5
7	–	2	50	2545	1550	995
8	–	2	100	3240	1750	1490
9	–	2	150	2781	2770	11
10	–	50	150	3270	3260	10



а)



б)



в)

г)

Рисунок 3. Зразки після попереднього притирання: а – зразок №5; б – зразок №7; в – зразок №1; г – зразок №2

Висновки. На основі аналізу літературних джерел та проведених досліджень було встановлено особливості впливу комплексу наповнювачів (CuO та БВ різної товщини) на структуру і властивості ЕК-систем. Вивчено вплив цих наповнювачів на фізико-механічні характеристики матеріалів на основі епоксидно-діанової смоли. Встановлено оптимальне концентраційне співвідношення елементів системи при застосуванні епоксидно-діанової смоли ЕД-20 і комплексу наповнювачів.

Показано доцільність використання комплексу наповнювачів (CuO та БВ різної товщини) при створенні епоксидних композитів трибологічного призначення. Встановлено кореляційний зв’язок між фізико-механічними характеристиками та зносостійкістю розроблених матеріалів.

©В.П.Кашицький, П.П. Савчук, О.П. Киселюк, О.О.Клименко, О.О. Дуда

На основі результатів досліджень визначено, що найвища межа міцності при стисканні ($\sigma_{ст}$ = 134,395 МПа) серед досліджуваних систем характерна для ЕК з вмістом CuO 150 мас. ч. і товстого БВ – 100 мас. ч., що можна пояснити утворенням у матеріалі структурної сітки з оптимальною кількістю вузлів зшивання, також при цьому співвідношенні компонентів спостерігається найнижче значення інтенсивності вагового зношування (Ig = 4 мг/км).

1. Чернин И.З., Смехов Ф.М., Жердев Ю.В. Эпоксидные полимеры и композиции. – М.: Химия, 1982. – 232 с.
2. Ли Х., Невилл К. Справочное руководство по эпоксидным смолам: Пер. с англ. – М.: Энергия, 1973. – 416 с.
3. Крагельский И.В. Трение и износ, 2 изд. – М: Машиностроение, 1968. – 480 с.
4. Петріченко С.Д., Антифрикційні матеріали і підшипники ковзання. Довідник. – М.: – 1954. – 354 с.
5. Богданович П.Н., Прушак В.Я. Трение и износ в машинах. – Минск: Высшая школа: – 1999. – 374 с.

©В.П.Кашицький, П.П. Савчук, О.П. Киселюк, О.О.Клименко, О.О. Дуда