

УДК 614.84

**О.Л. Садова, І.В. Боярська, В.П. Кашицький**  
*Луцький національний технічний університет, Україна*  
**ДОСЛІДЖЕННЯ КОРОЗІЙНОЇ ТА АТМОСФЕРНОЇ СТІЙКОСТІ**  
**ЕПОКСИКОМПОЗИТНИХ ТРИБОМАТЕРІАЛІВ**

*В статті приведено результати досліджень процесів поглинання епоксикомпозитами води та гліцерину, їх корозійної та атмосферної стійкості. Незначні зміни маси зразків вказують на їх досить високу корозійну стійкість в розведених кислотах та стійкість до атмосферних умов.*

*Ключові слова: епоксикомпозитний матеріал, термічна обробка, фрактограма зламу, поглинання, антикорозійна стійкість, корозія, атмосферна стійкість.*

*Рис. 1. Табл. 4. Літ. 4.*

**О.Л. Садова, И.В. Боярская, В.П. Кашицкий**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ И АТМОСФЕРНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ**  
**ЭПОКСИКОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*В статье приведены результаты исследований процессов поглощения эпоксикомпозитами воды и глицерина, их коррозионной и атмосферной устойчивости. Незначительные изменения массы образцов указывают на их достаточно высокую коррозионную стойкость в разбавленных кислотах и устойчивость к атмосферным условиям.*

*Ключевые слова: эпоксикомпозитный материал, термическая обработка, фрактограма излома, поглощение, антикоррозийная устойчивость, коррозия, атмосферная устойчивость.*

**O.L. Sadova, I.V. Boiarska, V.P. Kashytskyu**  
**RESHERCH CORROSION AND ATMOSPHERIC STABILITY OF EPOXY COMPOSITE**  
**TRIBOMATERIALS**

*The article presents the results of research of the absorption processes of water and glycerin by epoxy composites, their corrosion and atmospheric stability. Minor changes of masse of the samples indicate that they are sufficiently high corrosion resistance in dilute acids and resistance to weather conditions.*

*Keywords: epoksykompozytnyy material, heat treatment, fraktohrama breakdown, absorption, corrosion resistance, corrosion, atmospheric stability.*

Термін служби машин та механізмів в значній мірі залежить від надійності роботи вузлів тертя, на відновлення яких потрібні значні матеріальні ресурси. Застосування полімерів в галузі триботехніки дозволяє підвищити корозійну стійкість вузла тертя та знизити його масу, а також відмовитись від використання рідких мастильних матеріалів.

Актуальним напрямком є розробка композитних трибоматеріалів на основі полімерних в'язучих, зокрема на основі епоксидних олігомерів. Дані реактопласти мають високу адгезію до більшості матеріалів, високу механічну міцність та хімічну стійкість, малу усадку і водопоглинання. Введення металевих наповнювачів підвищує механічні характеристики епоксикомпозитних матеріалів (ЕКМ), однак при цьому відбувається зміна корозійної стійкості [1, 2].

Метою дослідження було експериментально визначити хімічну стійкість ЕКМ в різних робочих та хімічних середовищах: води, гліцерину, розчинів натрій хлориду, натрій гідроксиду, хлоридної, сульфатної та нітратної кислот, а також встановити атмосферну стійкість.

Для дослідження процесів поглинання, антикорозійної стійкості та кліматичного впливу було сформовано під різним тиском зразки з епоксикомпозитних матеріалів (табл. 1), для яких проведено попередню та основну термічну обробку [3].

Корозійну стійкість отриманих матеріалів визначали шляхом занурення зразків у воду, гліцерин, а також 10%-ні розчини  $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$ ,  $HCl$ ,  $NaCl$ ,  $NaOH$  [4]. Розмір зразків становив  $60 \times 10 \times 10$  мм. Зразки зважували до і після витримки в агресивному середовищі на аналітичних вагах марки ВЛР – 200 з точністю до 0,0001 г.

Процес дослідження полягав у зануренні зразків у колбу з 50 мл досліджуваного розчину. Через певний проміжок часу (24, 68, 120 год) зразки виймали та поміщали поміщають у сушильну шафу з паперовий фільтром при температурі 80...100°C. Після зважування зразки поміщали у колбу для подальших досліджень. Повторення досліду виконувалось необхідну кількість разів до досягнення максимальної зміни маси.

Дослідження атмосферного впливу проводили шляхом розміщення зразків в природніх умовах протягом 30 днів.

Зміну маси зразків визначали за формулою:

$$x = \frac{(m_a) - m_0}{m_0} \cdot 100\%$$

де  $m_0$  – початкова маса зразка, мг;

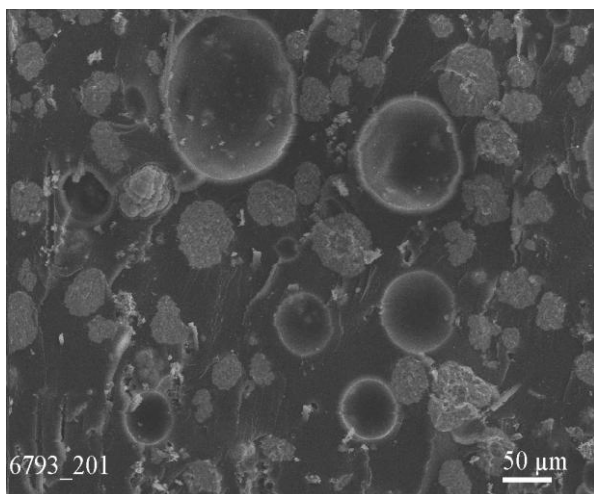
$m_a$  – маса після експозиції у розчині, мг.

Для епоксикомпозитів № 1 та № 2 досліджено поверхні зламу. З фрактограм (рис. 1) видно, що поверхні зламу є майже рівними, оскільки на них відсутні різкі перепади рельєфу. Через наявність незначних виступів на поверхні можна припустити, що розвиток тріщини проходить біля границь розділу волокон із матрицею. Це можна пояснити вищою когезійною міцністю вуглецевого волокна, ніж адгезійної міцності полімерної матриці з останнім.

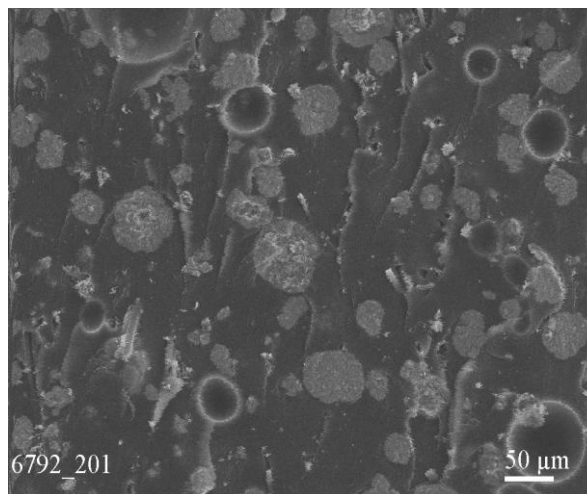
Таблиця 1. Склад епоксикомпозитних матеріалів

№ зразка	Наповнювач	Вміст наповнювача, мас. ч.	Тиск пресування Р, МПа
1	CuO	100	150
	Cu	16	
	вуглецеве волокно	2	
2	CuO	100	300
	Cu	16	
	вуглецеве волокно	2	
3	CuO	150	300
	Cu	16	
	вуглецеве волокно	2	

Паралельність ліній сколювання на поверхнях вказує на рівномірний розподіл залишкових напружень в ЕКМ. Припускаємо, що їх рівномірний розподіл в матеріалі забезпечує проведення



а



б

Рис. 1. Фрактограми зламу ЕКМ, сформованого під тисками 150 МПа (а) та 300 МПа (б)

попередньої термічної обробки перед основною, оскільки формування під тиском збільшує значення даної характеристики.

Злам проходить по ділянках з наявністю мікропор в матеріалах, тобто де затрачається менша робота на руйнування. Отже, для розробленого ЕКМ характерний крихкий вид руйнування, що вказує на невисоку в'язкість.

З фрактограм зламу видно, що в матеріалі, сформованому під тиском 150 МПа розмір мікропор становить 40...150 мкм, а під тиском 300 МПа – 25...100 мкм. Отже, вищий тиск пресування зменшує кількість пор та їх розмір у високонаповненій полімеркомпозиційній системі,

чим підвищує її міцність, що важливо для матеріалів конструкційного та триботехнічного призначення.

Дослідження процесів поглинання епоксикомпозитами води та гліцерину подано в табл. 2. Результати показали, що розроблені матеріали здатні поглинати дані речовини. Матеріал наповнений 100 мас. ч. оксиду міді має нижчі показники водопоглинання при вищому тиску формування (300 МПа), що пояснюється наявністю меншої кількості мікропор. Найнижчі значення даної характеристики спостерігається при вищому ступені наповнення епоксисистеми (150 мас. ч.  $\text{CuO}$ ).

Показники поглинання ЕКМ гліцерину є протилежними до водопоглинання. Мале поглинання гліцерину спостерігається для зразка з нижчим тиском формування та ступенем наповнення епоксисистеми, а найбільше – з вищим тиском та ступенем наповнення. Отримані результати можна пояснити наступним чином. Оскільки гліцерин є в'язким, то відбувається його втримування в мікропорах щільнішого матеріалу (150 мас. ч. оксиду міді, тиск пресування 300 МПа) за рахунок виникнення сил поверхневого натягу. Гліцерин сильніше взаємодіє із твердим тілом, ніж з повітрям, тому відбувається змочування ЕКМ даною речовиною. Для матеріалу з більшими розмірами мікропор (рис. 1) можливе витікання гліцерину з останніх (через нижчий тиск формування 150 МПа), що зменшує поглинання. При цьому зовнішній вигляд епоксикомпозитних зразків не змінився.

Таблиця 2. Результати досліджень поглинання ЕКМ води та гліцерину

№ зразка	Середовище занурення ЕКМ	
	вода	гліцерин
1	+0,240	+0,089
2	+0,215	+0,195
3	+0,041	+1,126

Для ЕКМ сформованого під нижчим тиском (зразок № 1) отримано кращі результати антикорозійної стійкості (табл. 3), що пояснюється наступним чином. Після дослідження зразки промиваються водою для видалення продуктів корозії. Однак виникають труднощі при видаленні продуктів корозії із матеріалу, сформованому при вищому тиску пресування через менші розміри мікропор, де вони залишаються, що впливає на розрахунки антикорозійної стійкості. Відповідно для матеріалу, сформованому при нижчому тиску, де розміри пор є більшими, продукти корозії видаляються значно легше.

Таблиця 3. Антикорозійна стійкість епоксикомпозитних матеріалів

№ зразка	Антикорозійна стійкість ЕКМ				
	$\text{HNO}_3$	$\text{HCl}$	$\text{NaCl}$	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$\text{NaOH}$
1	-1,436	-1,395	+0,289	-1,453	+0,163
2	-1,689	-1,559	+0,535	-1,853	+0,582

При зануренні епоксикомпозитів в розчини кислот відбувається зниження маси зразків, що пов'язано із розчиненням і вимиванням матеріалу. Збільшення маси зразків спостерігається при їх зануренні в розчини солі ( $\text{NaCl}$ ) та основи ( $\text{NaOH}$ ). При цьому поверхня епоксикомпозитів покривається продуктами корозії, що призводить до збільшення маси.

Дослідження впливу атмосферної стійкості на ЕКМ подано в табл. 4.

Таблиця 4. Вплив атмосферних умов на стійкість епоксикомпозитів

№ зразка	попередня ТО	Кліматичний вплив
1	–	+0,156
	+	+0,082
2	–	+0,106
	+	+0,044
3	–	+0,079
	+	+0,041

Дослідження кліматичного впливу показали, що полімеркомпозити при дії атмосферних умов насичуються вологою, що підтверджується попередніми результатами на їх здатність до

водопоглинання (див. табл. 2). З табл. 4 видно, що вищу атмосферну стійкість має ЕКМ з вмістом 100 мас. ч. оксиду міді при формуванні під тиском 300 МПа порівняно із тиском 150 МПа на 32,1%. Це можна пояснити вищим ступенем зшивання системи та наявністю меншої кількості мікропор. Отримані результати показали, що для розроблених епоксикомпозитів попередня термічна обробка покращує їх атмосферну стійкість в два рази. Найкращі показники даної характеристики (+0,041) має матеріал з вищим ступенем наповнення епоксисистеми (150 мас. ч. оксиду міді) сформований під тиском 300 МПа, які на 8,9% є вищими порівняно із отриманими значеннями аналогічно сформованого матеріалу з вмістом оксиду міді 100 мас. ч.

Отже, розроблені ЕКМ здатні поглинати воду та гліцерин; характеризуються досить високою хімічною стійкістю; стійкі до незначних перепадів температур та атмосферних умов, що дозволяє використовувати дані матеріали в якості матеріалів триботехнічного призначення.

1. Садова О.Л. Дослідження корозійної стійкості епоксикомпозитів триботехнічного призначення / О.Л. Садова, В.П. Кашицький // Нові матеріали і технології в машинобудуванні: матеріали VI науково-технічної конференції, 20-21 травня 2014 р. – Київ: НТУУ „КПІ”, 2014. – С. 102-104.

2. Садовая О.Л. Технологические аспекты обеспечения конструкционной устойчивости эпоксикомпозитов триботехнического назначения / О.Л. Садовая, В.П. Кашицкий, П.П. Савчук // Порошковая металлургия: современное состояние и будущее, 22-25 апреля 2014 г. – Київ. – 2014. – С. 75.

3. Садова О.Л. Забезпечення ефективного функціонування трибосистем при використанні полінаповнених епоксикомпозитів / О.Л. Садова, В.П. Кашицький, П.П. Савчук, О.Д. Костенко // Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування: матеріали 5-ої міжнародної науково-практичної конференції, 1-3 жовтня 2014 р. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2014. – С. 321-324.

4. Карякина М.И. Лабораторный практикум по испытанию лакокрасочных материалов и покрытий / М.И. Карякина – М.: Химия, 1977. – 234 с.

Стаття прийнята до друку 25.03.2015.