

УДК 621.763

САВЧУК П.П.<sup>1</sup>, САВЧУК Л.А.<sup>2</sup><sup>1</sup>Луцький національний технічний університет<sup>2</sup>Волинський національний університет імені Лесі Українки**АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИТІВ**

*В роботі запропоновані варіанти практичного застосування розроблених епоксидних композиційних матеріалів з різним ступенем наповнення. Показано їх переваги у порівнянні з аналогами*

*Ключові слова: епоксидні композити, аналоги, властивості, використання матеріалів, термін експлуатації*

*Савчук П.П., Савчук Л.А. Анализ эффективности использования эпоксидных композитов. В работе предложены варианты практического применения разработанных эпоксидных композиционных материалов с различной степенью наполнения. Показано их преимущества по сравнению с аналогами.*

*Ключевые слова: эпоксидные композиты, аналоги, свойства, использование материалов, срок эксплуатации*

*Savchuk P.P., Savchuk L.A. Analysis of the efficiency of epoxy composites. The approaches for practical application of the developed variants of epoxy composites with different content. Shown their advantages in comparison with analogues*

*Keywords: epoxy composites, counterparts, properties, use of materials, life*

**Постановка проблеми у загальному вигляді і її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями.** Створення і використання гетерогенних матеріалів матрично-наповненого типу з керованими властивостями є одним з провідних напрямків розвитку сучасного матеріалознавства. Особливий науковий та практичний інтерес представляють епоксидні композиційні матеріали (ЕКМ), які завдяки високим адгезійним, теплофізичним, триботехнічним активно застосовуються як зносо- і корозійностійкі матеріали і захисні покриття в машинобудуванні, будівництві, харчовій промисловості, авіації та ракетно-космічній сфері [1-4].

Пошук шляхів досягнення максимального зшивання структурної сітки зв'язуючого, яке не породжує зростання додаткових внутрішніх напружень у сформованому композиті, а також досягнення оптимальної щільності і структурної однорідності гетерофазної системою дозволяють направлено регулювати структуру і властивості на етапі створення матеріалу.

**Аналіз останніх досліджень, у яких започатковано вирішення проблеми.** Широка гамма використання ЕКМ в техніці є вагомим показником їх ефективності. При цьому актуальним є класифікаційний поділ епоксидних композитів на мало-, середньо- та високонаповнені композиційні системи [5].

Класифікування ЕКМ-систем за ступенем їх наповнення, виділення для кожної із груп характерних особливостей, що впливають на функціональні властивості матеріалів, дозволило оптимізувати технології отримання та склади композицій для їх наступного використання як клейових з'єднань, конструкційних, триботехнічних та теплоізоляційних матеріалів, захисних зносо-, термо- й корозійностійких покриттів [5, 6].

**Метою досліджень** є узагальнена та порівняльна оцінка потенційних можливостей застосування розроблених ЕКМ у промисловості.

Матеріали і методи досліджень. Як вихідний матеріал матриці використано епоксидно-діанову смолу марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84), що твердне при нормальній або підвищених температурах без зовнішнього тиску, забезпечує високу щільність матеріалів. Для отвердіння епоксидних композицій застосовували поліетиленполіамін – ПЕПА (ТУ 6-05-241-202-78).

Як модифікатори застосовували кремнійорганічні лаки (наприклад, марки КО-921) та інші розчини [6].

Для наповнення композицій використовували вуглецеве волокно (ВВ), базальтові тонке (БТВ) та супертонке (БСТВ) волокна, базальтову луску (БЛ), порошки технічного (ТГ), силіційованого (СГ) і лускатого (ЛГ) графітів, фторопласту (ВДФ), карбїду титану (ТіС), оксиду міді (CuO) та ШХ15 дисперсією від 0,05-0,1 до 90-125 мкм.

При введенні твердофазних компонентів зразки матеріалів були поділені на групи залежно від ступеня поліфункціонального наповнення: мало-, середньо- та високонаповнені. В еквіваленті масових часток (відносно 100 мас. ч. епоксидного зв'язуючого) це складає 0,5-12, 12-100, 100 і більше, а в об'ємному співвідношенні – відповідно 0,05-8% (об.), 8-30% (об.) та понад 30% (об.) наповнювача.

Композиції формували методом гідродинамічного суміщення компонентів з наступною обробкою енергетичними полями. При цьому використано установки для обробки епоксикомпозитів на стадії формування ультразвуком, ультрафіолетовим опроміненням та магнітним полем.

Степінь отвердіння матеріалів визначали за вмістом гель-золь-фракцій шляхом виявлення не зв'язаних в полімерну сітку фрагментів на екстракторі Соксклета.

Структурні зміни та процеси термоокислювальної деструкції епоксикремнійорганічних композитів вивчали також методом диференційно-термічного аналізу на дериватографі системи Ф. Паулік, І. Паулік, Л. Ердей. Нагрів здійснювали на повітрі в динамічному режимі зі швидкістю 10 град/хв в інтервалі температур 293-773 К.

Характер розвиненості поверхонь часток, розподіл структурних складових в об'ємі матеріалу, наявність дефектів у системі аналізували на модульному комплексі Dimic 1000, що становить оптичну 3D-систему контролю [6].

Дослідження структур ЕКМ проводили методом пластмасографії шляхом аналізу отриманих зображень після додаткової комплексної плазмохімічної обробки поверхні шліфів у полі високоіонізованого газового розряду на установці ВУП-5М та подальшого промивання зразків в ультразвуковій ванні у середовищі етилового спирту.

Фрактограми зламу досліджували на скануючому електронному мікроскопі SUPERPROBE 733 (фірми JEOL, Японія) при прискорюючій напрузі 25 кВ.

Визначення фізико-механічних та теплофізичних характеристик проводили за стандартними методиками.

**Обговорення результатів.** Введення в полімерну матрицю модифікаторів, а в полімерматричну мультинаповнену систему інгредієнтів, що виконують армуючу функцію (порошку оксиду міді, подрібнені вуглецеве та базальтове волокна, базальтову луску тощо) дозволило отримати матеріали із стабільними фізико-механічними характеристиками в діапазоні низького, середнього та високого наповнення, а застосування функціональних добавок (високодисперсних карбиду титану, графіту та фторопласту) – досягнути відповідних експлуатаційних характеристик на завершальному етапі їх створення.

При створенні ЕКМ-систем із заданими функційними характеристиками, керуючись відповідними умовами експлуатації, здійснювали вибір полімерного

зв'язуючого та інгредієнтів наповнення на базі оптимізованих композицій, отриманих в результаті структурної та фізичної модифікації [6].

Для прикладу, композиція (пат. № 34758) на основі епоксидно-діанової смоли ЕД-20, твердника та модифікатора у формі поліметилфенілсилоксану КО-08К (20-90 мас. ч.), що являє собою розчинений в толуолі кремнійорганічний лак і дозволяє максимально поліпшити реологічні властивості епоксидних композицій при формуванні, підвищити адгезійну міцність, теплостійкість та знизити залишкові напруження в сформованій системі [7]. Досягнуте поліпшення властивостей полімерного зв'язуючого збільшило термін експлуатації одержаних матеріалів на вказаній основі.

Виходячи з порівняльних результатів (прототип – а.с. №1495345), наведених в таблиці 1, присутність в епоксидному полімері модифікатора суттєво підвищило адгезійно-міцнісні та теплофізичні характеристики системи заявленого складу.

Таблиця 1

Склад і характеристики досліджуваних композицій

Компоненти, мас. ч.	Приклади композицій згідно патенту №34758			Прототип		
Епоксидна смола ЕД-20	100	100	100	100	100	100
Твердник ПЕПА	10	12	14	8	10	12
Модифікатор КО-08К	10	90	50	–	–	–
Антипірен	–	–	–	5	7	10
Характеристики матеріалу:						
Адгезійна міцність на розрив, МПа	67,9	66,0	65,5	30,2	34,7	33,9
Внутрішні напруження, МПа	3,01	3,99	2,79	3,56	3,87	3,45
Вміст гель-фракцій, %	96,6	95,2	94,6	92,5	93,6	91,9
Границя міцності при стисканні, МПа	77,1	68,2	72,9	59,4	61,2	60,5
Теплостійкість, К	414	463	433	318	324	313

Аналогічне підсилення функціональних характеристик спостерігається при направленому використанні наповнювачів (табл. 2).

Склад і характеристики досліджуваних ЕКМ-систем

Компоненти, мас. ч.	Приклади композицій згідно патенту № 44102			Прототип		
Епоксидна смола ЕД-20	100	100	100	100	100	100
Твердник ПЕПА	10	12	14	10	12	14
Модифікатор КО-08К	10	90	50	10	90	50
Базальтова луска	30	60	90	–	–	–
Характеристики матеріалу:						
Адгезійна міцність на розрив, МПа	64,4	63,2	62,7	67,9	66,0	65,5
Внутрішні напруження, МПа	2,88	2,64	2,72	3,01	3,99	2,79
Вміст гель-фракцій, %	97,2	97,5	97,9	96,6	95,2	94,6
Міцність при стисканні, МПа	88,1	88,4	88,9	77,1	68,2	72,9
Теплостійкість, К	473	483	498	414	463	433

Зокрема, при введенні в полімерну композицію базальтового наповнювача у формі луски, з оптимізацією діапазону концентраційного співвідношення, спостерігається значний ріст не тільки фізико-механічних, але й теплофізичних характеристик. Таке поліпшення властивостей епоксидних композитів дозволяє збільшити термін експлуатації одержаних матеріалів на полімерній основі.

Виходячи з порівняльних результатів (прототип – патент України №34758), наведених в таблиці 2 нами показано, що присутність в ЕКМ базальтового наповнювача при оптимізації термічної та фізичної модифікації сприяє підвищенню фізико-механічних та теплофізичних характеристик системи заявленого складу, насамперед міцності і теплостійкості при зниженні внутрішніх напружень [8].

Ефективність створених ЕКМ-систем базується на їх перевагах над аналогами (таблиця 3). При цьому табличні дані систематизовані при патентних дослідженнях. Слід відмітити, що розроблені поліматричні мультинаповнені системи відрізняються переважно вищими адгезійно-міцнісними, фізико-механічними, теплофізичними характеристиками. Особливо характерними є підвищена термо- та

зносостійкість отриманих систем, що пов'язане насамперед з модифікацією полімерної основи, формуванням композицій, в яких наповнювачі здійснюють комплексний функціональний вплив на систему. В цілому це забезпечує помітний підсилюючий ефект, а також керованість властивостей. Важливу функцію відіграє також термічна та фізична модифікація ЕКМ-систем, яка сприяє виробленню в матеріалі здатності адаптуватись до зовнішнього впливу.

Таблиця 3

Порівняльні показники властивостей розроблених матеріалів та аналогів

Показник	ЕКМ 1	ЕКМ 2	ЕКМ 3	ЕКМ 4	ЕКМ 5	ЕКМ 6	КЕП	УР-41	ГЕС-1
Ударна в'язкість, кДж/м <sup>2</sup>	9,54	10,43	9,32	10,59	–	–	–	6,59	3,72
Руйнівне напруження при згинанні, МПа	4,94	5,15	5,43	6,03	–	–	–	4,40	3,42
Теплостійкість, К	390	405	400	409	–	–	–	354	345
Корозійна тривкість в 3%-середовищі NaCl, Ом×см <sup>2</sup>	6,08	6,43	6,12	–	6,43	–	4,38	4,02	2,57
Відносна стійкість до спрацювання	–	–	–	–	–	1,00	0,84	0,49	0,29

**Висновки.** Створено ЕКМ-системи різного функційного призначення. Введення в полімерну матрицю модифікаторів та в композиційну систему інгредієнтів, які виконують армувальну функцію, дозволило отримати матеріали із стабільними фізико-механічними характеристиками в діапазоні низького, середнього та високого наповнення, а застосування функціональних добавок – досягнути відповідних експлуатаційних характеристик на завершальному етапі їх створення. Порівняльна оцінка представлених властивостей показала переваги створених матеріалів над існуючими аналогами. Показано, що мультинаповнені ЕКМ-системи характеризуються переважно вищими адгезійно-міцнісними, фізико-механічними, теплофізичними та експлуатаційними характеристиками, в порівнянні з аналогами.

**Література:**

1. Полімерні композиційні матеріали в ракетно-космічній техніці: Підручник / [Є.О. Джур, Л.Д. Кучма, Т.А. Манько та ін.] – К.: Вища освіта, 2003. – 399 с.
2. Принципы создания композиционных полимерных материалов / А.А. Берлин, С.А. Вольфсон, В.Г. Ошмян, Н.С. Еникополов. – М.: Химия, 1990. – 240 с.
3. Князев В.К. Эпоксидные конструкционные материалы в машиностроении / В.К. Князев. – М.: Машиностроение, 1977. – 183 с.
4. Чернин И.З. Эпоксидные полимеры и композиции / И.З. Чернин, Ф.Н. Смехов, Ю.В. Жердеев. – М.: Химия, 1982. – 228 с.
5. Косторнов А. Г. Закономерности создания эпоксидных композиционных материалов с управляемыми свойствами / А. Г. Косторнов, П. П. Савчук // Материалы и покрытия в экстремальных условиях: исследования, применение, экологически чистые технологии производства и утилизации изделий : материалы V-й международной конференции, 22-26 сентября 2008 г. – К., 2008. – С. 28.
6. Савчук П.П. Наукові і технологічні основи створення та керованого функціонування епоксидних композитів з різним ступенем наповнення: дис... д-ра техн. наук: 05.02.01 – Київ: ПІМ, 2010. – 320 с.
7. Пат. 34758 Україна, МПК<sup>6</sup> C08L63/00. Полімерне в'язуче для теплоізоляційного матеріалу / Савчук П. П., Отченашенко О. А., Мельничук М. Д.; заявник і патентовласник Луцький державний технічний ун-т. – № u200802447 ; заявл. 25.02.08 ; опубл. 26.08.08, Бюл. № 16.
8. Пат. 44102 Україна, МПК<sup>9</sup> C04B 38/02, C08L 63/00. Полімерна композиція для теплоізоляційного матеріалу / Савчук П. П., Косторнов А.Г., Чувашов Ю.М., Дідук І.І., Яценко О.М.; заявник і патентовласник Луцький національний технічний ун-т. – № u200813236 ; заявл. 17.11.08 ; опубл. 25.09.09, Бюл. № 18.