

## ДО ПИТАННЯ ПРО СТРУКТУРУВАННЯ ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИТІВ У ФІЗИЧНИХ ПОЛЯХ

*Боярська І.В., Савчук П.П., Кашицький В.П.,  
Луцький національний технічний університет*

*В статті проаналізовано особливості структурування епоксидних композитів при їх формуванні в зовнішніх фізичних полях. Зафіксовано підвищення ступеня структурування, ударної міцності та зносостійкості композитів у результаті термоелектродного та ІЧ-нагріву, а також зниження залишкових напружень. Показано, що комбінована термічна обробка є оптимальною для даних матеріалів. Ключові слова: епоксидний композит, ударна міцність, зносостійкість.*

**Вступ.** На сьогодні питання заміни металевих конструкцій полімеркомпозитами є досить актуальними, що пов'язано з їх конкурентоспроможністю як рівноцінного за функціональними показниками матеріалу, а також значною економією матеріальних та енергетичних ресурсів.

**Актуальність досліджень.** Полімерні композиційні матеріали (ПКМ) здатні задовольняти широкий діапазон вимог, що ставляться на даний час до сучасних матеріалів. Для отримання таких матеріалів з високими фізико-механічними та експлуатаційними властивостями в їх склад вводять поліфункціональні наповнювачі. Поєднуючи індивідуальні властивості компонентів ПКМ здатні забезпечити більш якісний комплекс властивостей [1]. Важливим аспектом отримання ПКМ є спосіб їх формування.

На даний час формування полімерних композицій здійснюють ефективніше при використанні зовнішніх фізичних полів. Така обробка в процесі формування матеріалів та покриттів на їх основі підвищує характеристики за рахунок регулювання параметрів надмолекулярної структури полімеру й орієнтованого розподілу часток наповнювача на межі розділу фаз [2, 3].

Вплив зовнішніх полів на епоксидні композиції в процесі тверднення [4] дає змогу знизити трудомісткість процесу і підвищити експлуатаційні характеристики матеріалів.

**Постановка задачі.** Метою даної роботи є встановлення впливу зовнішніх полів на підвищення фізико-механічних властивостей епоксиднокомпозитних матеріалів при невеликому часі їх структурування та дослідження поведінки даного матеріалу при динамічному навантаженні.

**Матеріали і методи досліджень.** Як вихідний матеріал використано епоксидно-діанову смолу марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84). Даний олігомер характеризується високою адгезійною здатністю і когезійною міцністю. Для зшивання епоксидних композицій використано твердник ПЕПА (ТУ 6-02-594-70). Він забезпечує структурування епоксидних композицій при

кімнатній та знижених температурах, а також в умовах підвищеної вологості [5].

Як наповнювач використали порошок оксиду алюмінію (ТУ 6-09-426-75). Композиції на основі даного інгредієнта володіють підвищеними електричними характеристиками, теплопровідністю, хімічною стійкістю, твердістю і зносостійкістю, а також зниженим термічним коефіцієнтом розширення [6].

Для встановлення оптимального впливу зовнішніх полів вибрано методики досліджень фізико-механічних властивостей, ступені структурування та зносостійкості даного матеріалу.

Ударну міцність покриттів на сталевих пластинах розміром  $60 \times 200$  мм визначали згідно методики [7], суть якої полягає у кількісному визначенні енергії удару, необхідної для наскрізного пошкодження захисних покриттів при падінні з певної висоти бійниці з наконечником каліброваного розміру ( $d = 8$  мм). Для визначення міцності захисних покриттів при ударі застосовували прилад УТ-1 (ГОСТ 25812-83).

Внутрішні напруження визначали консольним методом [8] за ГОСТ 13036-67. Ступінь тверднення матеріалів і покриттів визначали за вмістом гель-золь-фракції. Метод оснований на здатності частини матеріалу (плівки), не зв'язаної в полімерну сітку, вимиватися органічним розчинником в екстракторі Сокслета [8]. Екстракцію зразків у формі пластин розміром  $40 \times 70$  мм товщиною до 0,5 мм проводили в ацетоні протягом 8 год з наступним сушінням при температурі 393 К до постійної маси. Масу зразків до і після екстракції визначали на аналітичних лабораторних вагах з точністю до 0,0001 г.

Дослідження зносостійкості проводили при швидкості ковзання 0,163 м/с та питомому навантаженні 44,1 Н епоксикомпозитів з різним ступенем наповнення. Режимми трибонавантаження вибрано, враховуючи властивості матеріалу, оскільки при низьких навантажувально-швидкісних параметрах не можливо було зафіксувати зміну досліджуваної характеристики, а при жорстких режимах відбувалось катастрофічне руйнування композиту [9].

**Результати досліджень.** Експериментально встановлено, що вміст гель-фракції в наповнених епоксикомпозитах, термічно оброблених при термоелектродному та ІЧ-нагріванні, є вищим, порівняно з комбінованою термічною обробкою, та поступово підвищується пропорційно вмісту наповнювача. При цьому різке зниження показника характерне для епоксикомпозитів з вмістом наповнювача 50 мас. ч. (рис. 1).

Найвищі значення досліджуваної характеристики ( $G = 95,1\%$ ) спостерігаються при обробці термоелектродним нагріванням при вмісті наповнювача 100 мас. ч., що вказує на високу здатність системи утворювати міцні фізичні та хімічні зв'язки. Найнижчі значення ступеню структурованості ( $G = 87,3\%$ ) епоксикомпозиту зафіксовані для комбінованої термічної обробки із ступенем наповнення 100 мас. ч.

Найвищі внутрішні напруження ( $\sigma_{вн} = 0,85$  МПа) зафіксовано для епоксикомпозиту зі ступенем наповнення 100 мас. ч. при використанні термоелектродного нагріву, а найнижчі ( $\sigma_{вн} = 0,11$  МПа) – при комбінованій термічній обробці з аналогічним вмістом наповнювача (рис. 2).

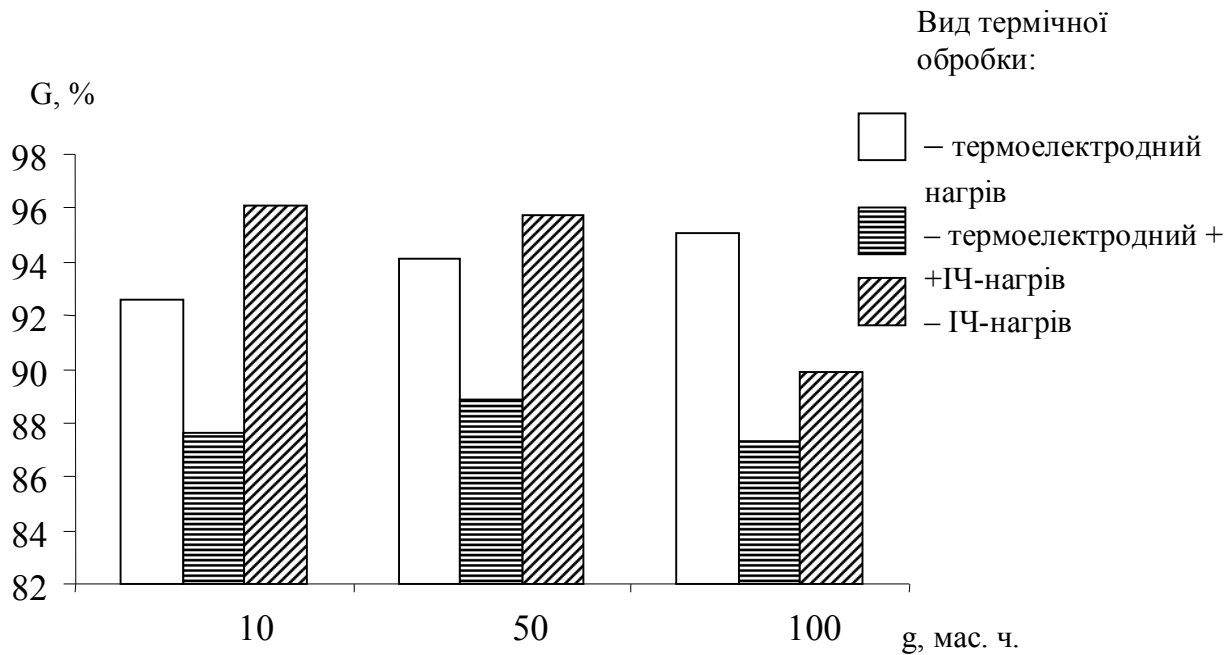


Рисунок 1 – Вплив кількості порошку оксиду алюмінію на ступінь структурування епоксидного композиту

Високі значення досліджуваної характеристики пов'язані з локальним зшиванням макромолекул матриці, при цьому процес відбувається хаотично та нерівномірно, відповідно, частина системи знаходиться в напруженому стані.

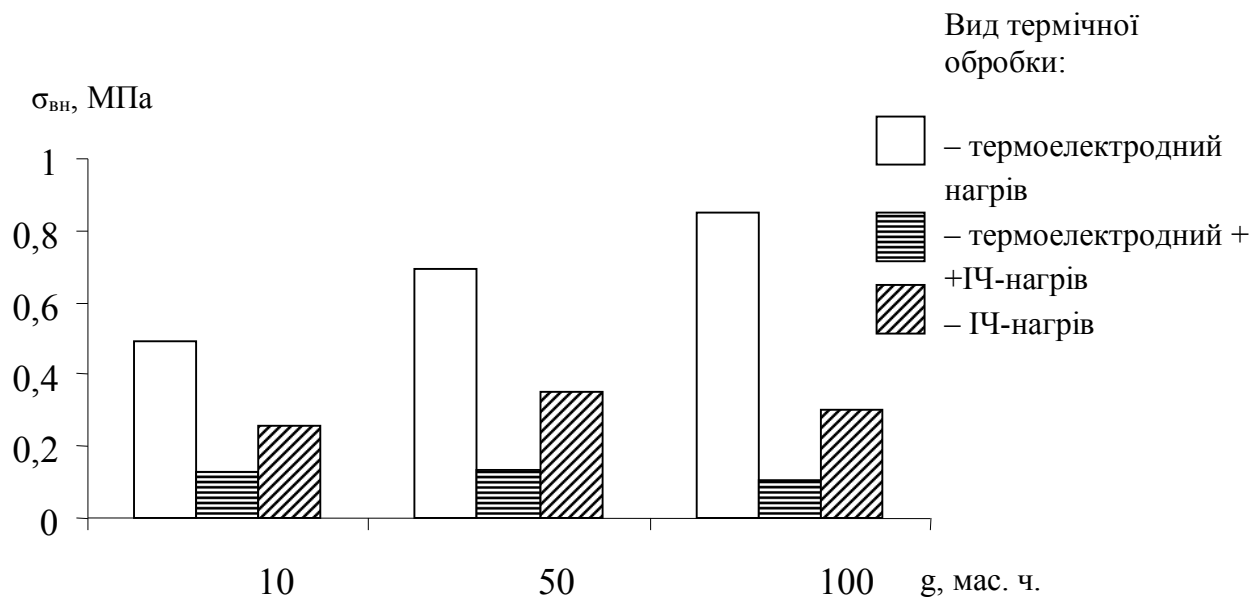


Рисунок 2 – Вплив кількості порошку оксиду алюмінію на внутрішні напруження в епоксикомпозиті

Показано, що епоксикомпозити після комбінованої термічної обробки характеризуються вищою межею ударної міцності (рис. 3), порівняно з епоксикомпозитами, що були оброблені при термоелектродному та ІЧ-нагріваннях (при вмісті наповнювача 100 мас. ч.: при комбінованій –  $A = 16,8$  Дж; при термоелектродному та ІЧ-нагріваннях –  $A = 11,6$  Дж та  $14,7$  Дж відповідно). Це пояснюється утворенням вільних радикалів на поверхні наповнювача, що сприяє утворенню більшої кількості вузлів зшивання [9].

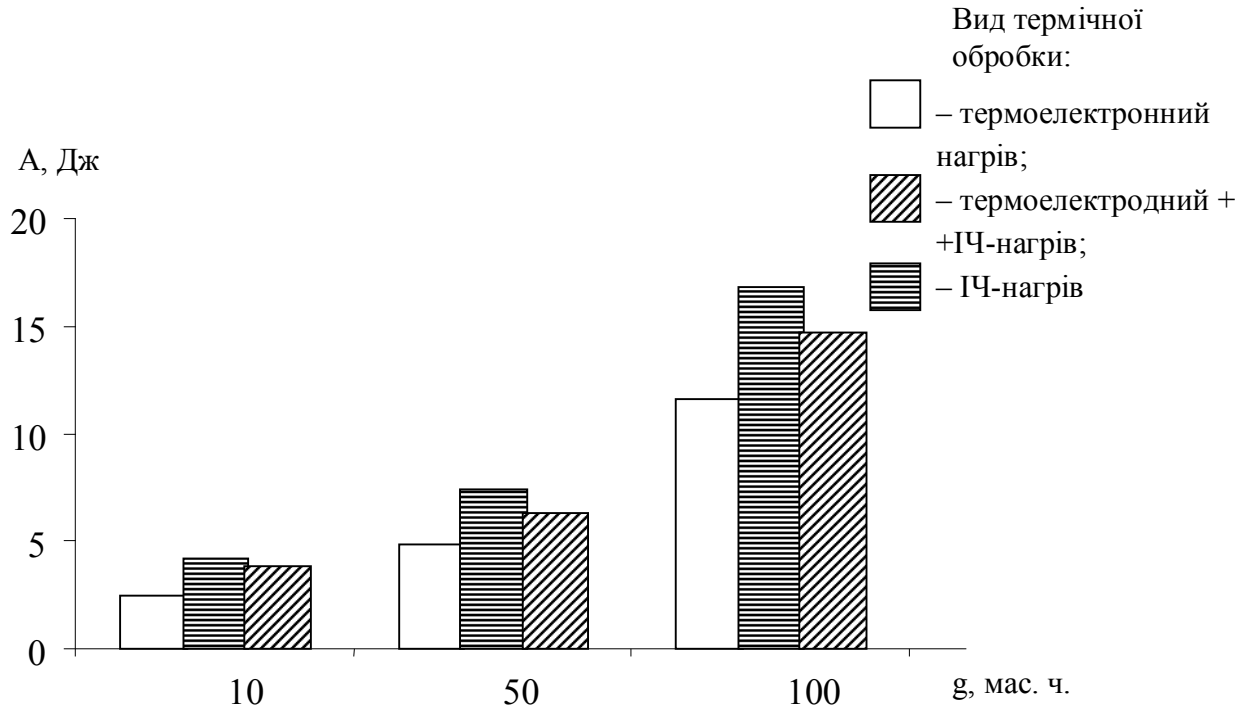


Рисунок 3 – Вплив кількості порошку оксиду алюмінію на ударну міцність епоксидного композиту

Випробування на ударну міцність показали, що максимальне значення границі міцності при динамічному навантаженні характерне для зразка епоксикомпозиту з вмістом наповнювача 100 мас. ч. серед зразків, які піддавали комбінованій термічній обробці, що видно по незначній зоні руйнування епоксикомпозитного покриття. При вмісті наповнювача 10 мас.ч. та 50 мас. ч. відповідно спостерігається поширення тріщин в локальній зоні руйнування.

Для групи зразків, що оброблялись ІЧ-нагріванням, найвищий показник межі міцності при динамічному навантаженні також зафіксовано для зразка з вмістом порошку 100 мас. ч., найнижчий, аналогічно комбінованій термічній обробці – 10 мас. ч.

Ударна міцність епоксикомпозитної системи зростає при застосуванні комплексної термічної обробки, яка забезпечує вищий ступінь однорідності композиту внаслідок інтенсифікації взаємодії складових системи та зниження дефектності системи в цілому.

Дослідження зносостійкості епоксикомпозитів показало (рис. 4), що для зразка, обробленого ІЧ-нагрівом, мінімальне значення вагового

зношування спостерігається при вмісті наповнювача 100 мас. ч. ( $I_g = 0,96\%$ ). Максимальне – при зменшенні кількості порошку оксиду алюмінію до 10 мас. ч. ( $I_g = 2,45\%$ ). Суттєве зменшення інтенсивності вагового зношування спостерігається для зразків, оброблених при комбінованій термічній обробці з вмістом наповнювача 100 мас. ч. ( $I_g = 0,51\%$ ).

При аналізі зразків після комбінованої термічної обробки в епоксикомпозитах з ступенем наповнення 50 мас. ч. виявлено сітку дрібних втомних тріщин, які виникають через недостатню кількість порошку оксиду алюмінію в епоксидній матриці. Для епоксикомпозитів, з вмістом порошку оксиду алюмінію 100 мас. ч. спостерігається класична поверхня лунки невеликої глибини, що свідчить про вищу зносостійкість матеріалу.

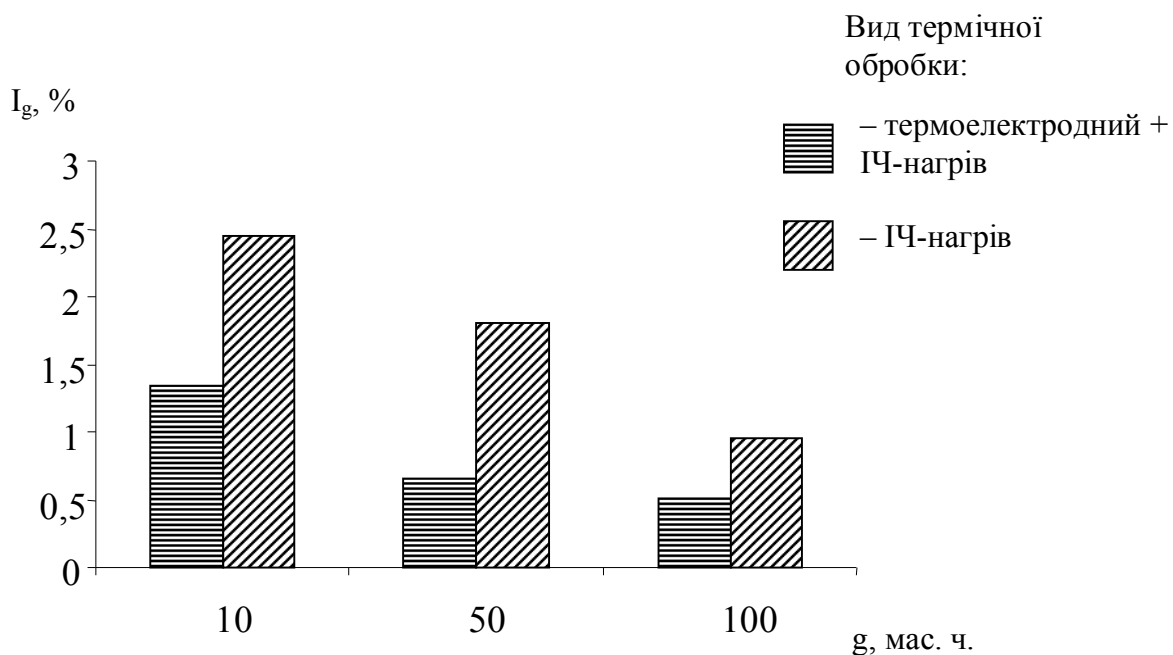


Рисунок 4 – Залежність інтенсивності зношування епоксикомпозитних покриттів від ступеня наповнення та виду термічної обробки

**Висновки.** Експериментально встановлено, що при оптимальному вмісті оксиду алюмінію (100 мас. ч.) спостерігається ріст досліджуваних характеристик, що вказує на високу здатність системи утворювати міцні фізичні та хімічні зв'язки.

У результаті досліджень встановлено, що комбінована термічна обробка є оптимальною для розроблених матеріалів, оскільки, при даній обробці спостерігається відносно високий ступінь структурування ( $G = 87,8\%$ ) матеріалу при малих внутрішніх напруженнях ( $\sigma_{вн} = 0,11$  МПа). Отже, формування тривимірної сітки відбувається рівномірно з достатнім часом для конформаційних перетворень.

Також показано, що епоксикомпозити після комбінованої термічної обробки характеризуються вищою межею ударної міцності порівняно з

матеріалами, що були оброблені при термоелектродному та ІЧ-нагріваннях при вмісті наповнювача 100 мас. ч.

Загалом, введення більшої кількості порошку оксиду алюмінію, який виступає бар'єром для поширення тріщин та використання комбінованої термічної обробки, сприяє підвищенню ударної міцності системи, що є позитивним фактором при розробці захисного покриття, яке здатне піддаватися дії динамічних навантажень.

Наведені результати експериментальних досліджень впливу кількості порошку за різних видів термічної обробки на інтенсивність зношування вказують, що при ІЧ-нагріві інтенсивність зношування епоксидного композиту вища, ніж при комбінованій термічній обробці, що пояснюється початком процесів термоокислювальної деструкції та виникненням додаткових внутрішніх напружень в системі.

Надалі заплановано дослідити вплив режимів термообробки на фізико-механічні властивості матеріалів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Терхунов А. Г. Комбинированные металлополимерные покрытия и материалы / А. Г. Терхунов, М. И. Черновол, В. М. Типунов. – К. : Техника, 1983. – 168 с.
2. Стухляк П. Д. Вплив граничних прошарків на властивості полімерних композитних матеріалів (огляд) / П. Д. Стухляк, М. М. Митник, В. О. Орлов // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2001. – №1. – С. 69 – 75.
3. Букетов А. В. Фізико-хімічні процеси при формуванні епоксикомпозитних матеріалів / А. В. Букетов, П. Д. Стухляк, Є. М. Кальба. – Тернопіль : Збруч, 2005. – 182 с.
4. 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.
5. Кардашов Д. А. Полимерные клеи. Создание и применение / Д. А. Кардашов, А. П. Петрова. – М. : Химия, 1983. – 256 с.
6. Яковлев А. Д. Порошковые полимерные материалы и покрытия на их основе / А. Д. Яковлев, Ю. Н. Зенченко. – Л. : Химия, 1971. – 254 с.
7. Карякина М. И. Лабораторный практикум по испытанию лакокрасочных материалов и покрытий / М. И. Карякина. – М. : Химия, 1977. – 234 с.
8. Санжаровский А. Т. Физико-механические свойства полимерных и лакокрасочных покрытий / А. Т. Санжаровский. – М. : Химия, 1978. – 184 с.
9. 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 : ІПМ, 2010. – 320 с.

**Боярская И.В., Савчук П.П., Кашицкий В.П. К ВОПРОСУ О СТРУКТУРИЗАЦИИ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ В ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЯХ**

*В статье проанализированы особенности структуризации эпоксидных композитов при их формировании во внешних физических полях. Зафиксировано повышение степени структуризации, ударной прочности и износостойкости композитов в результате термоэлектронного и ИК-нагрева, а также снижения остаточных напряжений. Показано, что комбинированная термическая обработка является оптимальной для данных материалов.*

*Ключевые слова: эпоксидный композит, ударная стойкость, износостойкость.*

**Boyarskaya I.V., Savchuk P.P., Kashitskiy V.P. TO THE PROBLEM OF STRUCTURIZING EPOXY COMPOSITES IN PHYSICAL FIELDS**

*Peculiarities of epoxy composites structurization when formed in external physical fields are analysed. Increase of structurization degree, impact strength and wear resistance of composites, as a result of thermionic and IR heating as well as lowering residual voltage, are registered. Combined thermal processing is shown to be optimal for the given materials.*

*Keywords: epoxy composites, impact strength, wear resistance.*