

П.П. Савчук, В.П. Кашицький, О.Л. Садова, Д.М. Матрунчик, В.О. Багіла
Луцький національний технічний університет
**ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПОРИСТОЇ СТРУКТУРИ ЕПОКСИДНИХ
ОРГАНОПЛАСТИКІВ**

В статті визначено особливості формування пористої структури епоксикомпозитних матеріалів наповнених деревним борошном, що насичене розчином перекису водню. Представлено результати впливу тривалості сушіння органічного наповнювача за підвищеної температури на інтенсивність піноутворення композиції в процесі структурування епоксикомпозитного матеріалу. Визначено вплив концентрації перекису водню та тривалості процесу структурування за підвищеної температури епоксидної композиції з органічним наповнювачем на формування пористості епоксидного органічного пластику. Оптимізовано вміст розчину перекису водню у деревному борошні та кількість наповнювача в об'ємі епоксиолімерної матриці, що забезпечило формування пористої структури з рівномірним розподілом пор.

Ключові слова: епоксиолімерна матриця, режим формування, пористість, спінювання, органічний наповнювач.

П.П. Савчук, В.П. Кашицкий, О.Л. Садовая, Д.Н. Матрунчик, В.А. Багила
**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ ЭПОКСИДНЫХ
ОРГАНОПЛАСТИКОВ**

В статье определены особенности формирования пористой структуры эпоксикомпозитных материалов наполненных древесной мукой, которая насыщена раствором перекиси водорода. Представлены результаты влияния продолжительности сушки органического наполнителя при повышенной температуре на интенсивность пенообразования композиции в процессе структурирования эпоксикомпозитного материала. Определено влияние концентрации перекиси водорода и продолжительности процесса структурирования при повышенной температуре эпоксидной композиции с органическим наполнителем на формирование пористости эпоксидного органического пластика. Оптимизировано содержание раствора перекиси водорода в древесной муке и количество наполнителя в объеме эпоксиполимерной матрицы, что обеспечило формирование пористой структуры с равномерным распределением пор.

Ключевые слова: эпоксиполимерная матрица, режим формирования, пористость, вспенивание, органический наполнитель.

P. Savchuk, V. Kashytskyi, O. Sadova, D. Matrunchyk, V. Bagila
FEATURES OF FORMATION OF POROSITY STRUCTURE OF EPOXY ORGANIC PLASTICS

The article describes the features of the formation of the porous structure of epoxy composite materials filled with wood flour, which is saturated with hydrogen peroxide solution. The results of the influence of the duration of drying of organic filler at elevated temperature on the intensity of foaming of the composition in the process of structuring the epoxy composite material are presented. The influence of the hydrogen peroxide concentration and the duration of the structuring process at elevated temperature of the epoxy composition with organic filler on the formation of porosity of the epoxy organic plastics was determined. The content of the hydrogen peroxide solution in the wood flour and the amount of filler in the volume of the epoxy polymer matrix was optimized. This ensured the formation of a porous structure with a uniform distribution of pores.

Keyword: epoxy polymer matrix, formation mode, porosity, expansion, organic filler.

В даний час пористі матеріали знайшли широке застосування в різних областях науки і техніки завдяки проникності та меншій щільності порівняно з компактними матеріалами. Вони застосовуються в якості фільтруючих елементів у фільтрах тонкого очищення рідин і газів від домішок, звукопоглинальних матеріалів, матеріалів для регенеративних теплообмінних апаратів різного призначення, в системах теплового захисту дзеркал лазерів і ракетних двигунів, медицині (пористий матеріал відіграє роль в'язучого і сприяє ефективному вrostанню кісткової тканини), а також в будівництві (пінобетон, газобетон), сільському господарстві, бджільництві. У промисловості пористі матеріали найчастіше застосовуються в якості фільтрів, теплоізоляції, каталізаторів або осушувачів. Пористі матеріали мають максимально низьку теплопровідність та густину, що робить можливим їх застосування у виробництві транспортних засобів [1-3].

Актуальною є розробка технологічного процесу отримання пористих композитних матеріалів з наповнювачами органічного походження, які вирізняються екологічною безпекою, здатністю до рециклінгу та відтворюваністю в природному середовищі. При цьому виникає ряд задач прикладного та наукового характеру, які необхідно вирішувати для отримання нових пористих полімерних органічних композитних матеріалів з поліпшеними механічними характеристиками, технологічністю та низькою собівартістю [4-6].

Метою роботи є визначення оптимального співвідношення між компонентами композиції та встановлення впливу технологічних параметрів на процес структурування пористих органокомполімерних матеріалів на основі епоксидної матриці.

Для формування полімерної матриці використано епоксидну смолу марки ЕД-20 та твердник поліетиленполіамін (ПЕПА). Епоксидно-діанова смола (ГОСТ 10587-84) характеризуються високою адгезією до більшості матеріалів, стійкістю в агресивних середовищах, високою твердістю та технологічністю. Поліетиленполіамін (ТУ 6-05-241-202-78) здатний до взаємодії з епоксидними групами за кімнатної температури.

В якості наповнювача використано деревне борошно, яке попередньо було просіяно та просушено в печі для видалення вологи. Деревне борошно обробляли розчином перекису водню (H_2O_2), після чого піддавали просушуванню в печі за температури 50...60 °С.

Перекис водню (ГОСТ 177-88) є безбарвною, прозорою, з невисокою в'язкістю рідиною зі слабким характерним запахом, необмеженою розчинністю у воді, спирті та ефірі. Дана речовина є сильним окислювачем та енергійно вступає у реакції з багатьма речовинами. Перекис водню здатний мимовільно розкладатися на воду та кисень.

Завдяки своїм сильним окислювальним властивостям перекис водню знайшов широке застосування у побуті та промисловості, де використовується, наприклад, як відбілювач на текстильному виробництві та технологічному процесі виготовлення паперу. Використовується також в якості піноутворювача при виробництві пористих матеріалів, у виробництві дезінфікуючих та відбілюючих засобів. У промисловості перекис водню також знаходить своє застосування в якості каталізатора [5, 7].

Формування дослідних зразків полягало в отриманні однорідної композиції, до складу якої входили вибрані компоненти. Залежно від об'єму зразків розраховували кількісний вміст інгредієнтів у масових частинах на 100 мас. ч. епоксидної смоли марки ЕД-20. Вміст поліетиленполіаміну складав 12 мас. ч. До епоксидної композиції вводили насичене перекисом водню деревне борошно. Після вимішування отриману композицію поміщали у форму та піддавали термічній обробці за температури 60 °С.

Деревне борошно насичували розчином перекису водню заданої концентрації (5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 30 %) та просушували в печі за температури 50 – 60 °С протягом 1 год або 2 год. Після додавання насиченого розчином перекису водню та просушеного наповнювача в епоксидну матрицю відбувалося спінювання композиції вже на етапі змішування компонентів (рис. 1, а). Виділення газу на стадії змішування компонентів є небажаним в технологічному процесі, що вказує надлишковий вміст розчину перекису водню, який перешкоджає структуруванню композиції під час термічної обробки.

Тому для зменшення вмісту перекису водню в наповнювачі підвищено тривалість просушування обробленого деревного борошна до 3 год та 4 год. Встановлено, що просушування наповнювача протягом 3 год також виявилось недостатнім, оскільки структурування композиції відбувається не в повній мірі. Під час просушування відбувається видалення води, яка перешкоджає процесу утворення хімічних зв'язків між кінцевими групами макромолекул епоксидної смоли та поліетиленполіаміну. Задовільний результат отримують в результаті просушуванням деревного борошна в печі протягом 4 год за температури 50 – 60 °С. При цьому з поверхні наповнювача видаляється вода та молекули перекису водню, що не призводить до інтенсивного спінювання композиції на етапі змішування компонентів (рис. 1, б).

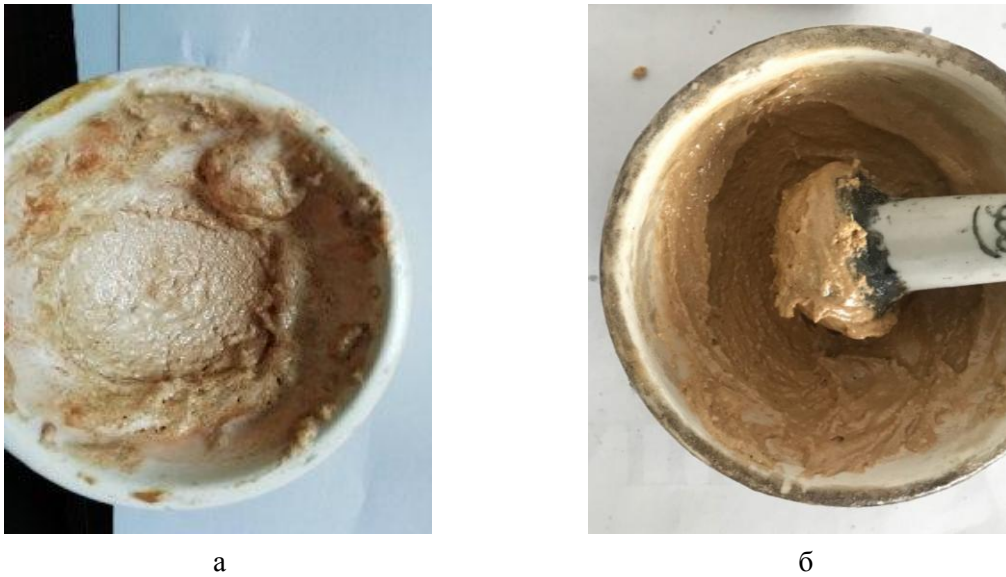


Рис. 1. Вигляд епоксидної композиції після змішування компонентів

Отриману композицію заливають у форму (1/3 частини) та піддають термічній обробці за температури 60 °С протягом 15 хв. Під час термічної обробки відбувається спінювання композиції, що призводить до збільшення об'єму матеріалу та одночасне поступове його тверднення. Спінювання матеріалу відбувається через виділення кисню в результаті взаємодії перекису водню, що міститься в об'ємі частинок деревного борошна, з активними групами поліетиленполіаміну. При поміщенні композиції в піч зростає температура композиції, в результаті чого відбувається дифузія молекул перекису водню з середини до поверхневих шарів частинок деревного борошна. Це призводить до підвищення швидкості реакції взаємодії та інтенсивного виділення кисню, який забезпечує формування пористої структури епоксикомпозитного матеріалу.

В результаті термічної обробки протягом 5 хв відбувається збільшення пористості епоксидної композиції, що призводить до збільшення її об'єму, однак структурування епоксиполімеру не відбувається (рис. 2, а). Витримка епоксидної композиції за температури 60 °С протягом 10 хв призводить до подальшого зростання її об'єму та часткового структурування (рис. 2, б). Збільшення витримки до 15 хв не призводить до подальшого зростання об'єму композиції, що вказує на завершення процесу газоутворення та забезпечує протікання процесу структуроутворення епоксиполімерного каркасу (рис. 2, в).



Рис. 2. Загальний вигляд епоксикомпозитів після термічної обробки з витримкою у сушильній шафі: а – 5 хв; б – 10 хв; в – 15 хв

Встановлено, що насичення деревного борошна розчином перекису водню малої концентрації (5 %, 10 %) призводить до формування пор меншого розміру, що щільніше розташовані одна біля одної. Зі збільшенням концентрації розчину перекису водню відбувається утворення більших за розміром пор. Використання концентрації розчинів 20 % та 30 % призводить до інтенсивного спінювання композиції та формування структури органопластиків з великими порами.

Органопластики з концентрацією розчину перекису водню 10 % мають пори великого розміру та дрібні пори (рис. 3, а), які хаотично розташовані в об'ємі епоксиполімерної матриці. Оптимальну структуру з рівномірним розташуванням та однаковим розміром пор мають епоксикомпозитні органопластики з концентрацією розчину перекису водню 15 % (рис. 3, б).

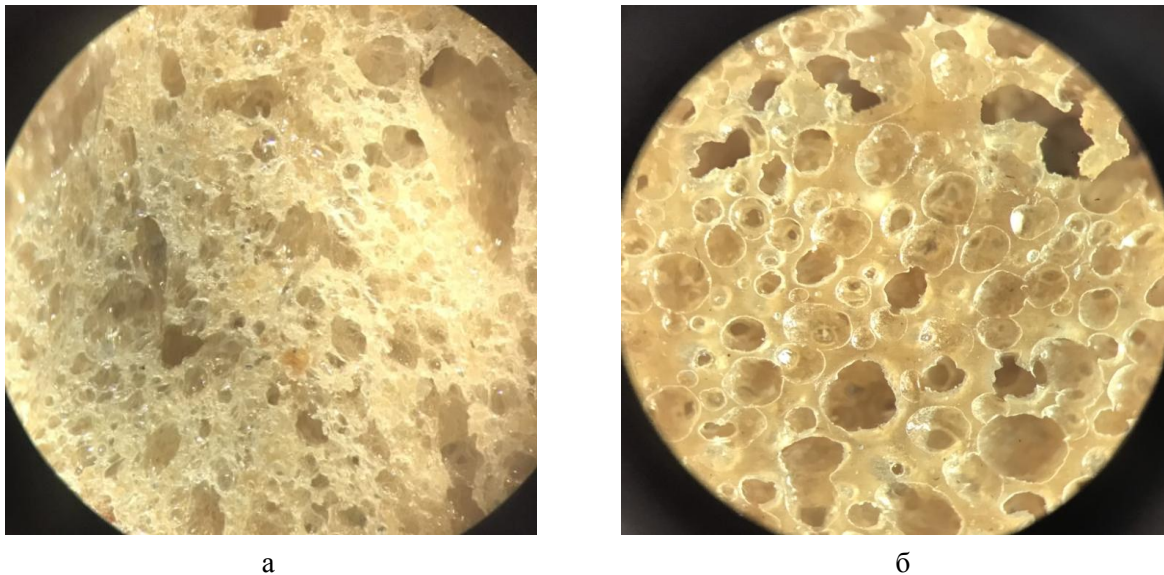


Рис. 3. Макроструктура епоксикомпозитів, наповнених деревним борошном, що оброблене розчином перекису водню, $\times 8$: а – 10 %; б – 15 %

Для визначення оптимального вмісту розчину перекису водню в об'ємі деревного борошна досліджено вплив співвідношення вмісту розчину H_2O_2 до маси деревного борошна (табл. 1) на формування пористої структури епоксидних органічних пластиків.

Таблиця 1.

Вміст розчину перекису водню та режими обробки деревного борошна

Концентрація H_2O_2 у воді, %	Об'ємне співвідношення розчину H_2O_2 до деревного борошна	Тривалість витримки деревного борошна насиченого H_2O_2 у сушильній шафі, год
15	8:3	4
15	4:3	2
15	2:1	4

За співвідношення компонентів розчину H_2O_2 до деревного борошна 8:3 (табл. 1) із наступним просушуванням наповнювача протягом 4 год відбулось спінювання композиції на етапі змішування компонентів. Під час проведення термічної обробки об'єм композиції не збільшився та тверднення епоксикомпозиту не відбулось, що вказує на надлишковий вміст розчину перекису водню у наповнювачі.

Встановлено, що у випадку використання співвідношенні розчину перекису водню до деревного борошна 4:3 та за умови просушування наповнювача протягом 2 год спінювання композиції на етапі змішування не відбулося. Під час проведення термічної обробки відбулося незначне збільшення об'єму епоксикомпозитного матеріалу, однак утворення пористої структури не відбулося, що пов'язано із недостатньою кількістю перекису водню для виділення газу.

За співвідношення розчину перекису водню до деревного борошна 2:1 із просушуванням наповнювача протягом 4 год відбувається спінювання та структурування композиції з формуванням пористої структури епоксикомпозиту.

Формування зразків проводили за різних об'ємних співвідношень розчину перекису водню та деревного борошна (табл. 2), в результаті чого встановлено, що оптимальний вміст деревного борошна насиченого перекисом водню складає 20 мас. ч. При цьому співвідношення розчину перекису водню до деревного борошна складає 2:1 (зразок № 2.2), що забезпечує виділення пороутворюючого газу та структурування епоксидної композиції. За меншого ступеня наповнення (15 мас. ч.) значно зростає пористість матеріалу, що зменшує його міцність. За вищого ступеня

наповнення органопластика (25 мас. ч.) відбувається зниження пористості епоксикомпозитного матеріалу.

Таблиця 2.

Концентрація розчину та склад епоксикомпозитних композицій

№ епоксикомпозитного зразка	Співвідношення розчину H ₂ O ₂ до наповнювача	Вміст наповнювача, мас. ч.
1.1	4:3	15
1.2	2:1	
2.1	4:3	20
2.2	2:1	
3.1	4:3	25
3.2	2:1	

Встановлено, що збільшення температури сушіння обробленого деревного борошна до 60 – 70 °С не дає позитивного результату, оскільки збільшення об'єму епоксидної композиції та розміру пор не відбувається.

Експериментально визначено, що оптимальний режим обробки деревного борошна (4 год за температури 60 °С), насиченого розчином перекису водню, дозволяє ініціювати процес виділення газу в процесі структурування епоксикомпозитних органопластиків. Тривалість процесу структурування епоксидної композиції складає 15 хв, протягом яких відбувається формування заданої пористої структури та епоксиполімерного каркасу. Використання 15 % розчину перекису водню для насичення деревного борошна забезпечує отримання рівномірної пористої структури епоксикомпозитного матеріалу, причому співвідношення вмісту розчину перекису водню до кількості деревного борошна повинно складати 2:1. Оптимальний вміст органічного наповнювача складає 20 мас.ч., що забезпечує формування дешевих органопластиків із задовільною конструкційною міцністю.

1. Аскадский А.А. Химическое строение и физические свойства полимеров / А.А. Аскадский, Ю. И. Матвеев. – М. : Химия, 1983. – 248 с.
2. Букетов А.В., Стухляк П.Д., Кальба Є.М. Фізико-хімічні процеси при формуванні епоксикомпозитних матеріалів. – Тернопіль: Збруч, 2005. – 182 с.
3. Технология полимерных материалов / Под. ред. В.К. Крыжановского. – СПб: Профессия, 2008.
4. Саранчук В.І., Ільяшов М.О., Ошовський В.В., Білецький В.С. Хімія і фізика горючих копалин. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2008. – с. 600.
5. Черный А.А., Черный В.А. «Пористые материалы и изделия, их улучшение на основе математического моделирования». – Пенза, 2007.
6. Берсудский В.Е., Крысин В.Н., Лесных С.И., Технология изготовления сотовых авиационных конструкций, М., 1975;
7. Васильев В.В. Композиционные материалы. Справочник / Васильев В. В. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.

Стаття надійшла до редакції 05.05.2019