

УДК 620.2:678.686

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

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ СТРУКТУРУВАННЯ ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ У ПОЛЯХ СТРУМІВ ВИСОКОЇ ЧАСТОТИ

В роботі приведені результати досліджень впливу енергії випромінювання полів від струмів високої частоти, часу витримки та природи наповнювача на степінь структурування епоксидних композиційних матеріалів. Показано позитивний вплив обробки в полях струмів високої частоти при формуванні епоксикомпозитів, порівняно з традиційними методами формування. Подані рекомендації щодо шляхів впровадження оптимізованих композицій в машинобудівну галузь.

Постановка проблеми. Існує ряд традиційних технологій, що дозволяють отримати деталі на основі терморезактопластів. Так, в промисловості в основному використовують термокамерний метод з конвективним підведенням тепла [1]. Даний метод дає можливість отримати деталі з полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) із властивостями, що задовольняють замовників, але він характеризується довготривалістю та енергоємністю.

Останнім часом починають застосовувати методи отвердіння ПКМ з використанням магнітних полів, радіаційного опромінювання, прискорених електронів [2]. В промисловості знаходять застосування методи високочастотного нагріву для обробки вологих матеріалів, для зварювання термопластичних матеріалів, при склеюванні неметалевих матеріалів [3].

Найбільш перспективним методом, який дає безумовні переваги у часі, а також з позицій екологічності та енергозбереження, є отвердіння деталей з ПКМ в полі струмів високої частоти [4].

Для використання електромагнітного поля високої частоти в складі технологічного процесу нагрівання напівфабрикатів з ПКМ та їх отвердіння необхідно правильно вибрати режим обробки, який визначається наступними параметрами: частотою коливань поля, потужністю електромагнітного поля та часом витримки.

Особливу актуальність має дослідження нагріву, що передбачає пряме поглинання енергії матеріалом, який нагрівається, за рахунок переміщення іонів і обертання диполей з частотою коливань електромагнітного поля без зміни в структурі макромолекул [4].

Метою досліджень є аналіз технологічних аспектів формування та оцінка ступеня структурування епоксикомпозитних матеріалів наповнених порошками різного хімічного складу.

Матеріали і методи досліджень. Як вихідний матеріал використано епоксидно-діанову смола марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84). Для тверднення епоксидних композицій застосовували поліетиленполіамін – ПЕПА (ТУ 6-02-594-70).

Як наповнювачі використано комплекс інгредієнтів: порошки чавуну, фторопласту та оксиду алюмінію.

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. Екстракцію зразків у формі пластин розміром 40×70 мм товщиною до 0,5 мм проводили в толуолі 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.

Формування дослідних зразків здійснювали шляхом отримання композиції однорідної консистенції, до складу якої входили задані компоненти. До епоксидної смоли ЕД-20 та твердника вводили наповнювачі, попередньо просушені в сушильній шафі для видалення вологи. Сформовану композицію наносили на підготовлену поверхню або заливали у спеціальні форми. Поверхню попередньо обробляли абразивом для досягнення необхідної шорсткості і знежирювали ацетоном.

Час витримки в полі струмів високої частоти змінювався від 5 с до 50 с, а при охолодженні складав 1...2 хв. Енергія електромагнітного випромінювання змінювалась від 25 Вт до 170 Вт.

Ступінчасту термічну обробку проводили одразу після формування або з витримкою при кімнатній температурі протягом 1 год, шляхом періодичної зміни температури за наступною схемою: 20 °С, 30 °С, 50 °С, 70 °С і 120 °С з витримкою по 10 хв на кожному етапі.

Обговорення результатів. На рисунку 1 представлено результати впливу енергії випромінювання полів від струмів високої частоти та часу витримки на здатність полімерної системи формувати якісний продукт, що визначається відсутністю дефектів системи. Зразки сформовані у зоні I структуровані повністю без видимих дефектів структури, а у зоні II полімери спінуються з наявною великою кількістю пустот. Спінування матеріалу відбувається через низьку теплопровідність полімерної основи, в результаті чого теплота локалізується і зумовлює інтенсивне випаровування летких складових епоксиполімеру, які формують пори в матеріалі в процесі його структурування.

При недостатній витримці до 10 с епоксиполімер структурується частково (10...15 %) за енергії поля 20...25 Вт. При подальшому збільшенні енергії поля до 190...210 Вт зразок тверднення матеріалу відбувається повністю.

При застосуванні економного режиму обробки за нижчої енергії (75 Вт) потрібно підвищувати тривалість витримки до 50 с. Це можна пояснити тим, що зразок за даний час встигає повністю отримати необхідну кількість енергії для завершення процесів структурування і сформувати первинні зв'язки.

Виходячи з отриманих експериментальних даних, можна констатувати, що при застосуванні більшої енергії (до 175 Вт) потрібна менша витримка (до 10 с), при цьому тривалість охолодження повинна складати до 1 хв для вирівнювання температури в об'ємі матеріалу. Відповідно при застосуванні меншої енергії (до 75 Вт) потрібна більша витримка (50 с) з аналогічним охолодженням до 1 хв.

Визначення даного розподілу формування є важливим моментом для встановлення оптимального режиму структурування композиційних матеріалів на епоксидній основі, що дозволяє надалі оцінити режим, за якого можливо отримати високі фізико-механічні характеристики епоксикомпозитів.

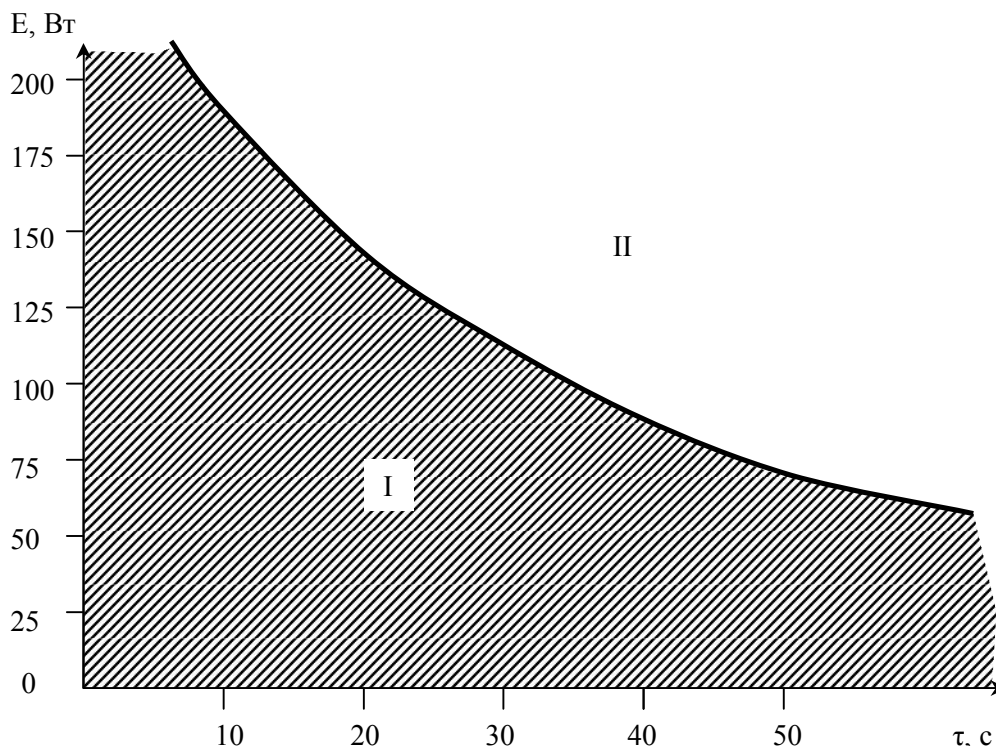


Рис. 1 Діаграма розподілу режиму формування структури епоксиполімерів у полі струмів високої частоти : I – структуровані; II – дефектні



Рисунок 2 Загальний вигляд зразків після екстрагування: а – СВЧ обробка;
б – ступінчаста обробка

Експериментально встановлено, що степiнь структурування епоксиполiмерiв при обробцi у полях струмiв високої частоти або пiсля ступiнчастої термiчної обробки одразу пiсля формування композицiї є невеликий, що вказує низький вiмiст гель-фракцiї в системi (80...85 %). Зразки пiсля екстрагування мають значну кiлькiсть трiщин через неповну структуруванiсть системи (рис. 2). Аналізуючи загальний вигляд зразкiв пiсля екстрагування можна вiдмiтити, що матерiал структурований в полi струмiв високої частоти має менше трiщин, порiвняно з матерiалом структурованим ступiнчасто, оскiльки енергiя електромагнiтного поля зумовлює перемiщення сегментiв макромолекул у всьому об'ємi полiмерної матрицi. При конвективному нагрiвi процеси структурування починаються на поверхнi виробу, а потiм за рахунок теплопровiдностi матерiалу поширюються всередину. Вiдповiдно поверхнева частина структурується в бiльшiй мiрi, що викликає градиент напружень, якi суттєво знижують фiзико-механiчнi характеристики композицiйного матерiалу. З метою пiдвищення рiвня структурування запропоновано обробку в полях проводити пiсля витримки виробу протягом 1 год при кiмнатнiй температурi. Це дозволить створити в матерiалi первиннi вузли зшивання, якi формують каркас полiмерної основи, а подальший додатковий енергетичний вплив призведе до завершення процесiв структурування епоксидної системи.

Введення до складу епоксиполiмерної основи дисперсних наповнювачiв приводить до формування композиту з якiсно новими властивостями. В роботi науковий iнтерес представляли дослiдження впливу обробки електромагнiтних випромiнювань для композицiйних матерiалiв наповнених порошками, що мають рiзний хiмiчний склад, щоб оцiнити яким чином природа наповнювача буде визначати властивостi виробу.

З рисунку 3 видно, що епоксикомпозити наповненi високодисперсним фторопластом мають найнижчий вiмiст гель-фракцiї (72,5 %), порiвняно з iншими матерiалами структурованими за аналогiчним режимом. Це вказує на те, що зв'язки мiж епоксидним полiмером та фторопластом формуються на перших етапах тверднення системи i проведення подальшої обробки є мало ефективним. Це пiдтверджується при застосуванні обробки в полi струмiв високої частоти, яка призводить до пiдвищення кiлькостi вузлiв зшивання мiж матрицею i наповнювачем. Ступiнчастий нагрiв дає менший ефект, оскiльки реакцiї в основному проходять на поверхнi виробу, а теплопровiднiсть як полiмерної матрицi, так i фторопласту є низькою.

Найвищу степiнь структурування (98,8 %) мають композити наповненi оксидом алюмiнiю пiсля СВЧ обробки. Це свiдчить про зростання степеня зшивання матрицi у зовнiшнiх поверхневих шарах навколо наповнювача, що пiдвищує експлуатацiйнi характеристики даних епоксиполiмерних систем. Як видно (рис. 3) даний наповнювач має високу активнiсть до утворення хiмiчних та фiзичних вузлiв зшивання, i тому проведення обробки у полi СВЧ пiдвищує степiнь структурування. Низький ефект вiд ступiнчастого нагрiвання можна пояснити утворення локальних хiмiчних зв'язкiв, якi блокують протiкання подальшого процесу структурування.

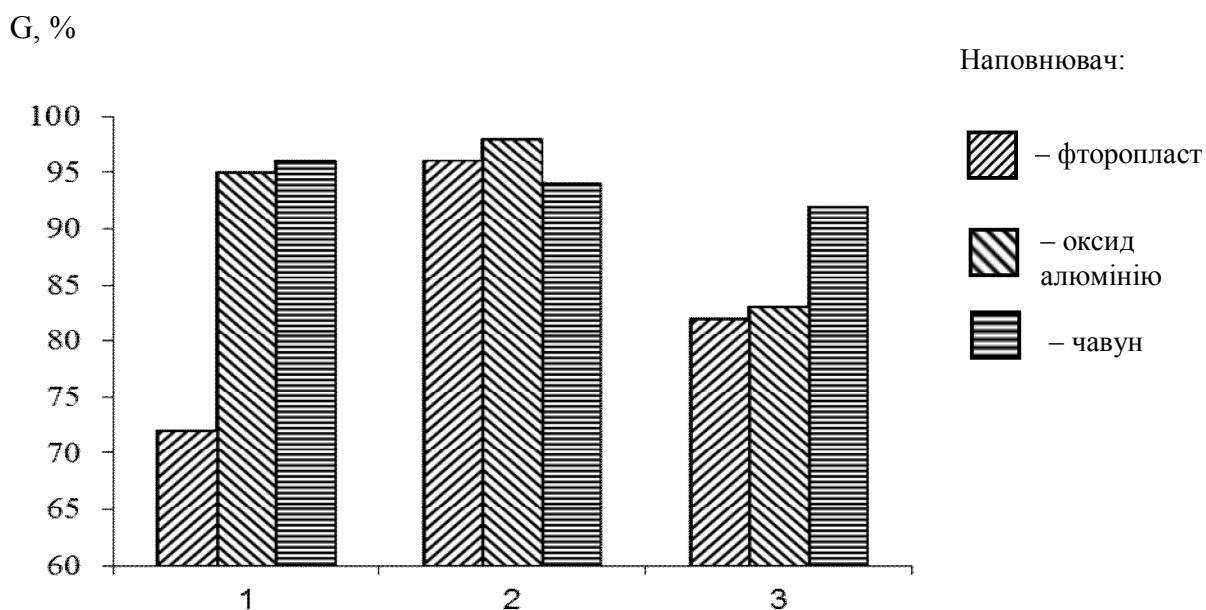


Рис. 3 Залежність вмісту гель-фракції від режиму обробки: 1 – 24 год при кімнатній температурі з наступною обробкою при 120 °С; 2 – обробка в полі струмів високої частоти; 3 – ступінчаста термічна обробка

При наповненні системи порошком чавуну маємо досить високі значення ступеня структуривання системи при проведенні подальшої термічної обробки з кінцевою температурою 120 °С, що пов'язано очевидно з формуванням зв'язків на останній стадії обробки під дією підвищеної температури. Застосування СВЧ обробки не призводить до підвищення даної характеристики через значний розмір частинок наповнювача, які слабо орієнтуються в епоксидній матриці. Порівняно з іншими наповнювачами кращий результат отримано при використанні

ні ступінчастого нагрівання, що пов'язано з високою теплопровідністю чавуну і як результат відбувається інтенсивна передача тепла всередину і його структуривання.

Висновки та перспективи розвитку. Таким чином, підтверджено ефективність обробки в полях струмів високої частоти, які інтенсифікують процес структуривання особливо для наповнювачів з низькою теплопровідністю. Дані режими формування доцільно застосовувати при отриманні композиційних матеріалів та захисних покриттів в машинобудівній галузі, для яких важливим є зменшення часу виготовлення виробу та стабільність експлуатаційних характеристик.

1. Буланов И.М., Воробей В.В. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов. – М.: МГТУ им. Н.И. Баумана, 1998. – 480 с.
2. Полімерні композиційні матеріали в ракетнокосмічній техніці: Підручник / Джур Є.О., Кучма Л.Д., Манько Т.А., Ситало В.І. – К.: "Вища освіта", 2003. – 399 с.
3. Глуханів Н.П., Федорова И.Г. Высоочастотный нагрев диэлектрических материалов в машиностроении. – Л.: Машиностроение, 1983. – 160 с.
4. Дем'янчук Б.А. Принципы и применение микроволнового нагрева. – Одесса: Черноморье, 2004. – 520 с.