

## ВИБІР ЧАСТОТИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ОТВЕРДІННЯ ЗВ'ЯЗНИКА У ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛАХ

© А. Л. Демура

Дніпропетровський національний університет

Запропоновано діапазон частот електромагнітного поля НВЧ для проведення процесу отвердіння зв'язуючого в склопластику. Показано ефективність використання данного методу для процесу отвердіння.

Отвердіння полімерних композиційних матеріалів прискорюється та набуває закінченого вигляду (набуття заданих ступеня отвердіння та інших фізико-механічних та хімічних показників) за умови витримки певного температурного режиму.

Існують різні методи нагрівання полімерних композиційних матеріалів. У сучасному виробництві використовується метод конвективного підведення тепла, який характеризується тривалістю процесу та значними витратами енергії.

У зв'язку з цим перед технологами ставиться питання розробки більш прогресивних та ефективних методів отримання полімерних композиційних матеріалів. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є використання новітніх видів енергії.

Виходячи із сучасних поглядів одним з таких нових видів енергії є надвисокочастотна (НВЧ) та високочастотна (ВЧ) енергії [1, 3]. НВЧ-енергетика має безумовні переваги у часі та екологічності перед усіма іншими методами нагрівання.

Надвисокочастотна енергетика охоплює нагрівання, обробку, дослідження, передачу енергії на відстань, генерування, пряме використання потужних надвисокочастотних коливань. При нагріванні у електромагнітному полі надвисокої частоти (ЕМП НВЧ) полімерних композиційних матеріалів рівномірність нагрівання компонентів матеріалу не забезпечується, бо твердий наповнювач та рідкий зв'язник мають різні діелектричні властивості. Але спеціально нагрівати наповнювач немає потреби. За рахунок підбору частоти ми здійснюємо вибіркового нагрів, тим самим подаючи тепло у рідку матрицю. Наповнювач також нагрівається, але за механізмом конвективного нагріву, відбираючи тепло від зв'язуючого.

Отже, наголос робиться на виборі НВЧ-діапазону, зменшенні витрат, підвищенні характери-

стичної ваги (тобто відношення потужності до ваги), безперервний, а не імпульсний режим роботи, підвищенні ККД, надійності, довговічності.

Перед усім нас зацікавило використання ЕМП НВЧ для нагрівання напівфабрикатів з полімерних композиційних матеріалів та їхнього отвердіння.

Для ефективного використання високочастотного методу нагрівання необхідно правильно вибрати режим обробки, який обумовлюється такими параметрами:

- потужність електромагнітного поля;
- відповідність швидкості нагрівання та часу витримки до швидкості хімічного процесу отвердіння;
- частоту коливань джерела живлення.

Вихідними параметрами є: задана інтенсивність нагрівання, фактор втрат  $\epsilon \tan \delta$ , допустима напруженість поля в матеріалі, геометричні параметри виробу, який обробляється.

Мінімальну частоту, за допомогою якої створюють потрібну інтенсивність нагрівання без перевищення напруженості електричного поля в матеріалі, визначали за формулою [2]

$$f_{\min} = 7.53 \cdot 10^{12} q_n \alpha \frac{1}{K} \frac{1}{E_{\text{Мдоп}}},$$

де  $f_{\min}$  — мінімальна частота, Гц;  $q_n$  — коефіцієнт, що залежить від фізичних властивостей матеріалу та навколишнього середовища;  $\alpha$  — швидкість нагрівання в К/с;  $K = \epsilon \tan \delta$  — фактор втрат, який залежить від електричних властивостей матеріалу;  $E_{\text{Мдоп}}$  — допустима напруженість електромагнітного поля. Допустима напруженість електромагнітного поля дуже важлива характеристика, бо вона є обов'язковою умовою збереження цілісності матеріалу.  $E_{\text{Мдоп}}$  визначається за формулою:

$$E_{\text{Мдоп}} = \frac{E_{\text{Мпроб}}}{1,5 \div 2},$$

де  $E_{\text{Мпроб}}$  — пробивна напруженість, тобто така напруженість електромагнітного поля, при якій відбувається пробій, і як наслідок — руйнування матеріалу.

При визначенні мінімальної частоти враховували, що фактор втрат і особливо тангенс кута втрат залежить від частоти. Мінімальна частота — це нижня границя частоти, при якій ще можна забезпечити цілісність матеріалу і отримати необхідну інтенсивність нагрівання.

Потужність енергії, що подається до матеріалу, є також важливим виробничим чинником. Значення підведеної потужності суттєво впливає на процес отвердіння. Якщо потужність енергії замала, то за рахунок конвективного охолодження матеріал може не досягти температури гелеутворення та процесу отвердіння. У разі завищення потужності матеріал перепалюється. Під час нагрівання, та отвердіння зв'язника із зміною його температурного, агрегатного та хімічного стану змінюються і діелектричні характеристики матеріалу. Відповідно змінюється необхідна частота електромагнітного поля. Отже, під час нагрівання для отримання оптимального режиму необхідно проводити узгодження параметрів генератора з еквівалентними параметрами оброблюваного матеріалу.

Якщо представити оброблюваний матеріал у виді плоского конденсатора, то максимальна частота, за якої можна налагодити в резонанс (умова оптимального режиму для нагрівання) систему та передати потужність від генератора до матеріалу, визначається за формулою [2]

$$f_{\text{max}} = \frac{3 \cdot 10^7}{l \sqrt{\varepsilon}},$$

де  $f_{\text{max}}$  — максимальна частота генератора;  $l$  — найбільший розмір конденсатору;  $\varepsilon$  — діелектрична проникність матеріалу. Проведені розрахунки показали, що можлива частота для процесу отвердіння зв'язника у полімерних композиційних матеріалах знаходиться в межах надвисокочастотного діапазону.

Проведено дослідження впливу електромагнітного поля надвисокої частоти на процес отвердіння склопластика у порівнянні із звичайним термокамерним методом.

Для дослідження були виготовлені зразки в вигляді пластин розмірами  $100 \times 200 \times 10$  мм на основі склотканини Т-11 і епоксидного зв'язника ЕДТ-10П (10 масових частин КДА-2 + 10 масових

частин ТЕАТ-1 + 100 масових частин розчинника).

Процес обробки зразків у електромагнітному полі надвисокої частоти проводили в резонаторі з біжучою хвилею. Варіювали час обробки. Контроль за процесом отвердіння зв'язуючого зразка склопластика, який знаходився в електромагнітному полі, проводили, вивчаючи зміну швидкості підвищення температури та часу її встановлення. Початкова температура в зразках 293 К, кінцева — 413 К.

Завершеність процесу отвердіння склопластика, який обробляли в електромагнітному полі, контролювали ступенем отвердіння, яка при дослідженнях досягала значень, більших за 94 %, що відповідає вимогам якості виробу.

Слід відзначити, що при перевищенні потужності електромагнітного поля мала місце зміна структури поверхні матеріалу, зразок обвуглився, отримав чорний колір, а зв'язник затвердів з утворенням структури з кульками повітря (закипів).

Таким чином, дослідження показали, що:

- 1) для проведення процесу отвердіння зв'язуючого склопластика можна ефективно використовувати електромагнітне НВЧ-поле;
- 2) діапазон частот електромагнітного поля, який можна використовувати для отвердіння склопластиків, знаходиться в межах надвисокочастотного діапазону;
- 3) має місце дуже значне скорочення часу обробки склопластиків у електромагнітному полі надвисокої частоти у порівнянні з термокамерним методом.

Робота виконана під керівництвом професора, доктора технічних наук Ф. П. Саніна.

1. Архангельский Ю. С., Девяткин Н. Н. Сверхвысокочастотные нагревательные установки для интенсификации технологических процессов. — Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1983. — 125 с.
2. Брицын Н. Л. Нагрев в электрическом поле высокой частоты. — М.-Л.: Машиностроение, 1965. — 65 с.
3. СВЧ-энергетика / Под ред. Э. Окреса. — М.: Мир, 1971. — 650 с.

#### CHOOSING ELECTROMAGNETIC FIELD FREQUENCY FOR SOLIDIFICATION OF BINDING MATERIAL IN POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS

A. Demura

We propose of frequencies of electromagnetic field for the solidification of binding material in glass fibre plastics. The efficiency of the use of the proposed method for the process of solidification is shown.