

УДК 678.02:621.365

Т. А. Манько, А. В. Рыбалко

*Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара***СЕЛЕКТИВНЫЙ МЕТОД ОТВЕРЖДЕНИЯ  
ЭПОКСИДНЫХ СВЯЗУЮЩИХ ДЛЯ СОЗДАНИЯ  
ТОНКОСТЕННЫХ ВЫСОКОПРОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

На підставі експериментальних досліджень за допомогою селективного методу ІЧ-отвердження були отримані зразки з ПКМ на підставі епоксидного зв'язуючого, які мають високу механічну міцність і компакту структуру порівняно з композицією, яка отверджена традиційним конвективним нагрівом.

*Ключові слова:* епоксидне зв'язуюче, полімер, ІЧ-опромінення, отвердження композиції, селективний метод.

На основании экспериментальных исследований с помощью селективного метода ИК-отверждения были получены образцы из ПКМ на основе эпоксидного связующего, которые обладают высокой механической прочностью и компактной структурой в сравнении с композицией, которая отверждена традиционным конвективным нагревом.

*Ключевые слова:* эпоксидное связующее, полимер, ИК-облучение, отверждение композиции, селективный метод.

On the basis of experimental researches with help selective method IR of hardening samples from PCM have been received on the basis of epoxy binding which possess high mechanical durability and compact structure in comparison with a composition which hardening a traditional convection heating.

*Key words:* epoxy binding, polymer, the IR-irradiation, hardening compositions, selective method.

**Введение.** Известно, что с целью энергосбережения, снижения себестоимости, уменьшения производственных площадей, защиты окружающей среды отверждение тонкостенных конструкций из полимерных композиционных материалов проводят с использованием инфракрасного (ИК) нагрева [2].

Такой способ отверждения по сравнению с традиционным конвективным приводит к повышению физико-механических характеристик и обеспечивает высокое качество композита. Это в первую очередь касается композитов на связующих поликонденсационного типа.

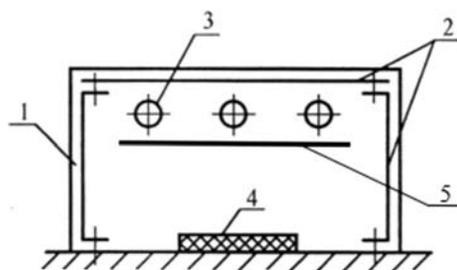
С целью дальнейшего снижения энергоёмкости в работе отверждение тонкостенных конструкций проводили селективным ИК-нагревом.

В качестве объекта исследования применяли эпоксидное связующее Sicomin SR 1710inj, которое хорошо пропускают ИК-излучение в области длин волн  $(2,7 - 4,0) \cdot 10^{-6}$  м за счёт того, что оптические свойства полимера и спектральные характеристики излучателя совпадают в этом диапазоне длин волн. Отверждение проводили на установке ИК-нагрева с использованием галогенных ламп накаливания (ГЛН) типа КГТ-220-1000-1.

С целью передачи максимальной удельной мощности от излучателя к поверхностному слою были выделены нужные полосы частот с помощью солевых фильтров, в которых основная часть излучаемой энергии приходилась на длину волны  $(2,8 - 3,2) \cdot 10^{-6}$  м.

Для реализации поставленной задачи, были выбраны основные параметры установки для проведения экспериментальных работ по отверждению образцов

эпоксидной композиции селективным методом ИК-нагрева. Данная установка представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** Схема установки для ИК-нагрева:  
1 – корпус; 2 – отражатели; 3 – ГЛН; 4 – образец; 5 – солевой фильтр

Установка состоит из корпуса 1, к верхней и боковым поверхностям которого прикреплены отражатели 2. В качестве материала отражателя был выбран медный лист, поверхность которого отполирована до шероховатости  $Rz = 20$ . Известно, что отражательная способность поверхности зависит от материала и его шероховатости. В ИК-области с увеличением электропроводности металлов их отражательная способность увеличивается. Наибольшую электропроводность имеет медь. Под верхним отражателем крепили три галогенные лампы накаливания 3, типа КГТ-220-1000-1. Нагреваемый образец 4 устанавливали в нижней части корпуса. Солевой фильтр 5 располагали под ГЛН.

Поток энергии, излучаемый лампой, определяли мощностью лампы ( $P$ ) и её энергетическим КПД ( $\eta$ ) [2]:

$$\Phi_a = \eta \cdot P.$$

Обычно  $\eta = 0,7 \div 0,75$ . Используя это выражение, определили число ламп в установке ИК-нагрева в зависимости от площади композита:

$$n = \Phi_n / \Phi_a \cdot u \cdot a = E \cdot S_o / P_\eta \cdot u \cdot a,$$

где  $\Phi_a$  – лучистый поток от лампы;  $\Phi_n$  – поток лучистой энергии;  $u$  – коэффициент эффективности источника;  $a$  – коэффициент многократных отражений;  $E$  – энергетическая освещённость;  $S_o$  – площадь облучаемой поверхности.

Расчитывая необходимое число ламп, вводили коэффициент запаса  $K = 1,1 \div 1,2$ .

Такой механизм теплопередачи при селективном методе ИК-облучения снижает энергоёмкость процесса сохраняя стабильно высокие физико-химические характеристики.

**Результаты эксперимента и их обсуждение.** В качестве объекта исследования использовали эпоксидное связующее Sicomin SR 1710inj.

Данный эксперимент проходил следующим образом.

Были приготовлены образцы типа «а» – кубик  $10 \times 10 \times 10$  мм, состоящий из эпоксидной смолы Sicomin SR 1710inj + SD 8824 (15 образцов, по 5 образцов на каждый режим).

Подготовленные образцы помещали в установку для конвективного ИК-нагрева и селективного ИК-нагрева. Проводили процесс отверждения по следующим режимам:

1. Процесс отверждения в печи конвективного нагрева пяти образцов типа «а»:
  - подъём до  $t = 40$  °С в течение 8 часов;
  - выдержка при  $t = 40$  °С – 24 часов.

Общее время составило 32 часа или 1920 мин.

2. Процесс отверждения в установке ИК-нагрева пяти образцов типа «а»:

- подъём до  $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 15 мин.;
- выдержка при  $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 30 мин.;
- подъём до  $t = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 15 мин.;
- выдержка при  $t = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 30 мин.;

Общее время составило 90 мин.

3. Процесс отверждения с солевыми фильтрами в установке ИК-нагрева пяти образцов типа «а»:

- подъём до  $t = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 10 мин.;
- выдержка при  $t = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 30 мин.;
- подъём до  $t = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 10 мин.;
- выдержка при  $t = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 30 мин.

Общее время составило 80 мин.

Образцы, отвержденные по различным режимам, подвергались механическим испытаниям. Проводили 10 измерений микротвёрдости для каждого образца на установке ПМТ-3 при нагрузке 10 грамм и выдержке в течение 15 с и определяли два параметра. Измерение микротвёрдости проводили на пяти образцах.

1. Микротвёрдость по Виккерсу

$$H_{\mu} = \frac{1854 \cdot 10}{(\Delta \cdot 0,307)^2} \left( \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2} \right),$$

где  $\Delta$  – разница длины диагоналей пирамиды.

2. Погрешность измерений

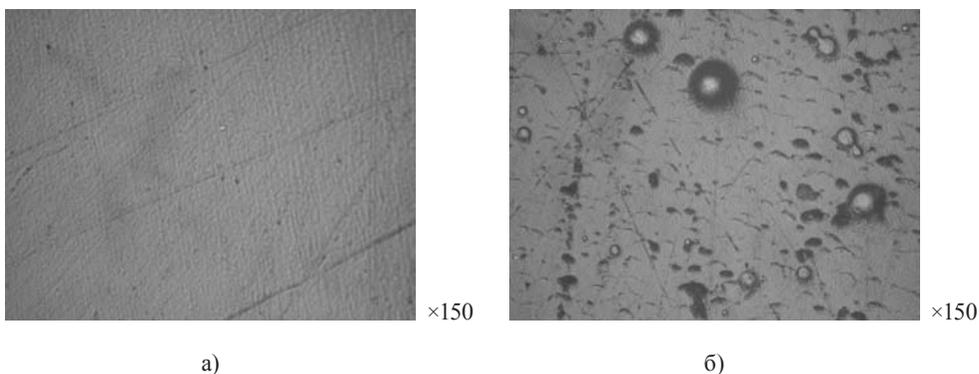
$$S = \sqrt{D},$$

где  $D$  – дисперсия.

Результаты измерений показали, что для образцов, отвержденных конвективным нагревом, микротвёрдость составляет – образец «а»  $29,61\text{ кгс/мм}^2$ , для образцов отвержденных при ИК-нагреве – образец «а»  $30,85\text{ кгс/мм}^2$ , для образцов отвержденных при селективном методе – образец «а»  $34,57\text{ кгс/мм}^2$ .

Проанализировав полученные результаты, очевидно, что образцы отвержденные селективным ИК-методом в течение 80 мин. имеют более высокую микротвёрдость. Это говорит о получении компактной структуры полимера с высокой степенью отверждения 97 %.

Результаты металлографических исследований, выполненные на микроскопе МИМ-8 при увеличении 150 крат (рис. 2), показали, что при отверждении эпок-



**Рис. 2.** Структура образца:  
а) при селективном методе; б) при конвективном нагреве

сидной композиции с помощью селективного ИК-метода (рис. 2а) наблюдается компактная структура материала. При конвективном отверждении структура неоднородна.

**Выводы.** Данные исследования показали, что применение селективного метода ИК-нагрева гарантирует равномерность распределения температуры по всей обрабатываемой поверхности, сохраняя стабильные повышенные физико-механические характеристики, что уменьшает энергоёмкость процесса отверждения эпоксидной композиции.

### Библиографические ссылки

1. **Карпинос Д. М.** Новые композиционные материалы : учеб. пособие / Д. М. Карпинос. – К. : Вища шк., 1977. – 312 с.
2. **Манько Т. А.** Прикладное материаловедение и технология конструкционных материалов / Т. А. Манько. – Днепропетровск : ДНУ, 2005. – 150 с.
3. 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.
4. Практикум по полимерному материаловедению / под ред. П. Г. Бабаевского. – М. : Химия, 1980. – 256 с.
5. **Розен Б.** Механика упрочнения композиций / Б. Розен // Волокнистые композиционные материалы. – М. : Мир, 1967. – 284 с.
6. **Чернин И. З.** Эпоксидные полимеры и композиции / И. З. Чернин, Ф. М. Смехов, Ю. В. Жердев. – М. : Химия, 1982.

*Надійшла до редколегії 16.05.2013.*