

Т.А. Манько

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ

*Днепропетровский национальный университет,
пер. Научный, 13, г. Днепропетровск, 49050, Украина, naza@ua.fm*

Существующая технология изготовления конструкций из стеклопластиков на основе термореактивных связующих включает длительное отверждение сформированных изделий в печах с конвективным способом передачи тепла. В последнее время интенсивно исследуются процессы ускоренного отверждения с применением нетрадиционных методов нагрева, основанных на использовании токов высокой частоты, радиационного отверждения потоком ускоренных электронов и инфракрасного излучения. При высокочастотном нагреве происходит внутренний разогрев материала, скорость нагрева не зависит от теплопроводности и размеров, а определяется подведенной удельной мощностью. Это позволяет значительно ускорить процесс отверждения, однако приводит к заметному снижению межслоевой прочности стеклопластиков [1]. При радиационном отверждении ускоренными электронами время отверждения стеклопластиков сокращается в десятки раз при степени отверждения, сравнимой с получаемой по действующей технологии. Отмечая перспективность применения электронного отверждения при изготовлении стеклопластиков, следует подчеркнуть, что в каждом конкретном случае необходим анализ целесообразности использования данного метода из-за высокой стоимости оборудования.

Наиболее универсальным и технически сравнительно легко реализуемым является метод инфракрасного нагрева. Относительная простота и невысокая стоимость инфракрасных излучателей, возможность создания больших удельных мощностей излучения в поверхностном слое при высоком КПД позволяют эффективно использовать его для ускоренного отверждения [2].

Применительно к практической реализации метода для изготовления намоточных изделий из стеклопластика нами изучалась возможность использования инфракрасного нагрева при послойном формировании оболочечной конструкции с последующим отверждением путем концентрированного локально-последовательного подвода энергии. В качестве объектов исследований были выбраны материалы, имеющие различные прочностные и теплофизические характеристики: кремнеземная, ткань КТ-11-ТО А, лента ЛЭС из алюмоборосиликатной ткани, поликонденсационное и полимеризационное связующие ЛБС-4 и ЭДИ соответственно.

При исследовании процессов, происходящих при инфракрасном нагреве в связующих и стеклопластиках на их основе, применяли инфракрасную спектроскопию, рентгеноструктурный анализ, определяли межслоевую прочность на сдвиг, плотность и степень отверждения. Спектроскопические исследования проводили на спектрометре SPECORD, рентгенографические - на дифрактометре ДРОН-3, прочностные испытания – на разрывной машине МР - 05 -1 при скорости нагружения $8 \cdot 10^5$ м/с.

Сравнительный анализ инфракрасных спектров неотвержденных и отвержденных связующих позволяет утверждать, что при инфракрасном облучении и конвективном нагреве реакции отверждения одни и те же. Это приводит к получению материалов с одинаковой структурой, что подтверждается данными рентгенографических исследований.

Важным условием создания прочной конструкции из стеклопластиков является проведение отверждения по оптимальным режимам. Режимы отверждения выбирали на основании исследования зависимости межслоевой прочности на сдвиг образцов микропластиков от температуры T и времени t инфракрасного нагрева. По результатам испытаний построены графики изменения средних значений усилий P разрыва от параметров инфракрасного нагрева стеклопластика на основе связующего ЛБС-4 (рис. 1) и стеклопластика на основе связующего ЭДИ (рис. 2). Данные усреднены по результатам испытаний 10 образцов.

Из анализа данных, приведенных на рис. 1 и 2, следует, что наибольшая межслоевая прочность стеклопластика на основе связующего ЛБС-4 обеспечивается проведением отверждения при температуре 430К в течение 0,5 часа, стеклопластика на основе связующего ЭДИ – при температуре 440К в течение 1,5 часа.

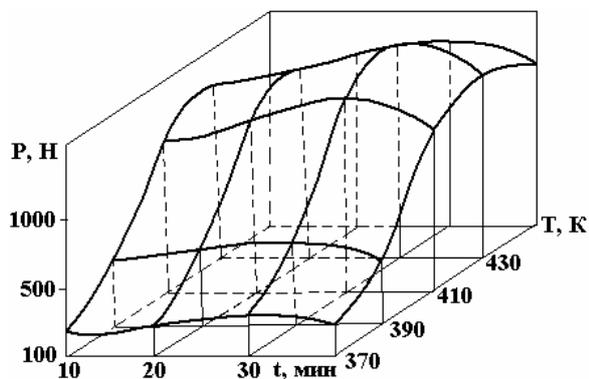


Рис.1

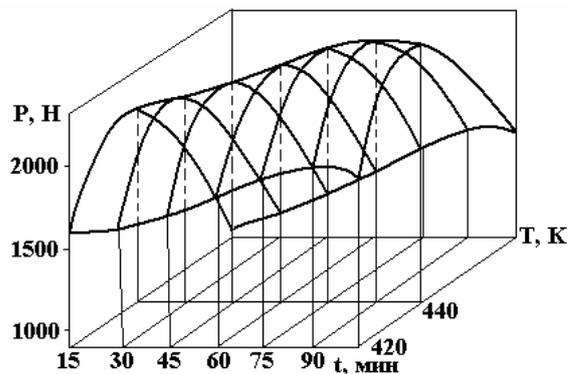


Рис. 2

Сравнение результатов испытаний образцов, отвержденных в печи конвективным способом передачи тепла по режимам действующей технологии и инфракрасным нагревом, показало, что локальное инфракрасное облучение позволяет значительно сократить время отверждения при сохранении значений межслоевой прочности. Ускорение отверждения происходит за счет создания высоких мощностей излучения в слое материала и более глубокого воздействия на молекулярную структуру. При действии излучения с частотой, близкой к частотам собственных колебаний атомов, возрастают вынужденные колебания, при этом увеличивается коэффициент поглощения энергии излучения.

Выбранные режимы были использованы при изготовлении тонкостенных (1,5–2 мм) стеклопластиковых оболочек с локальным отверждением инфракрасным нагревом. Оболочки формовали на установке для изготовления микропластиков намоткой на цилиндрическую оправку диаметром 215 мм при скорости вращения оправки 0,13 об/с. На первом этапе проводили облучение при послойном формовании оболочки, на втором - осуществляли вращение сформованной оболочки в поле инфракрасных излучателей до отверждения. Контрольные изделия после намотки отверждали в печи с конвективным способом передачи тепла. Результаты физико-механических испытаний образцов, полученных из сформированных оболочек, и режимы отверждения представлены в таблице.

Связующее	Вид нагрева	Режим отверждения		Плотность, кг/дм ³	Степень отверждения, %
		Температура, К	Время, час		
ЛБС-4	Инфракрасный Конвективный	433	1,5	1,48	97,2
		(293-433)	6	1,43	98,3
		433	1		
ЭДИ	Инфракрасный Конвективный	443	4,5	1,65	94,0
		363	3		
		393	3,5		
		423	1		
		443	2	1,65	96,0

Проведенные экспериментальные исследования показали возможность применения локального инфракрасного нагрева для получения намоточных изделий из стеклопластиков на основе термореактивных связующих с достаточно высокой степенью отверждения (94,0–97,2%) при значительном сокращении времени изготовления (в 3–4 раза).

Неотвержденные связующие имеют высокий коэффициент поглощения инфракрасного излучения, что приводит к быстрому нагреву. Это свойство связующих, а также создание благоприятных условий для выхода летучих компонентов при послойном формовании и больших

удельных мощностей излучения в наматываемых слоях позволяют эффективно использовать инфракрасный нагрев в процессе намотки. При послойно-последовательном формовании с применением инфракрасного нагрева каждый последующий слой ложится на частично отвержденный предыдущий, доотверждение которого происходит после облучения последующих. При этом отверждение внутренних слоев наступает в результате передачи тепла от металлической оправки. Благодаря большой плотности потока энергии, создаваемой в изделии, температура последнего поднимается гораздо интенсивнее, чем при конвективном нагреве. Перепад температур внутренней и наружной поверхностей оболочки сокращается, и процесс полимеризации происходит одновременно по всей массе материала.

Проведенные исследования ускоренного отверждения связующих в стеклопластиках с применением инфракрасного нагрева позволяет сделать следующие выводы:

1. Использование инфракрасного излучения эффективно в процессе намотки стеклопластиковых конструкций вследствие высокой поглощающей способности неотвержденного связующего, при возможности создания значительных удельных мощностей излучения в наматываемых слоях и улучшении условий выхода летучих компонентов связующего.

2. Ускорение отверждения стеклопластиков на основе термореактивных связующих при локальном инфракрасном нагреве происходит за счет глубокого воздействия на молекулярную структуру материала, вызывающего увеличение коэффициента поглощения инфракрасного излучения.

3. При отверждении намотанной конструкции инфракрасным облучением стационарный теплообмен наступает значительно быстрее, чем при конвективном нагреве.

По результатам исследований разработана установка для послойно-последовательного формования стеклопластиковых конструкций с применением локального инфракрасного нагрева.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борхерт Р., Юбиц В. Техника инфракрасного нагрева. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963. 278 с.
2. Федорова И.Г. Применение высокочастотного нагрева при изготовлении труб из стеклопластика // Пластические массы. 1961. № 1. С. 35–37.

Поступила 08.05.09

Summary

Results of the research into the formation of glass-reinforced products wound on a take up reel using infra-red radiation have been presented. The efficiency of the infra-red method of heating has been shown.
