

## ПОСЛОЙНОЕ ФОРМОВАНИЕ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНФРАКРАСНОГО НАГРЕВА

*Днепропетровский национальный университет,  
пер. Научный, 13, г. Днепропетровск, 49050, Украина  
Украинский научно-исследовательский институт технологии машиностроения,  
пр. Кирова, 46, г. Днепропетровск, 49054, Украина*

Метод инфракрасного (ИК) нагрева применяется на разных стадиях формообразования изделий из полимерных композитных материалов, изготавливаемых намоткой на станках с ЧПУ, для уменьшения вязкости связующего при «мокром» способе формования, для размягчения препрега, отверждения связующих, стимулирования химических реакций. Применение ИК нагрева для отверждения стеклопластиков реализуется схемой послойного формования изделий в поле ИК излучателей [1].

Сущность метода заключается в совмещении процессов намотки и локального разогрева ИК нагревателем зоны формования. ИК излучатели создают большие удельные мощности при высоком КПД, а наружное расположение источников способствует эффективному использованию нагрева, так как отверждение внутренних слоев идет со стороны разогретой металлической оправки.

Экспериментальные исследования [2] позволили выбрать параметры технологических режимов формования стеклопластиковых оболочек фенольно-формальдегидных связующих с применением ИК нагрева, при этом следует ориентироваться на величину линейной окружной скорости намотки, определяемой диаметром и частотой вращения оболочки.

Возможны различные вариации параметров формования. Очевидно, существует некоторое сочетание оптимальных (субоптимальных) параметров, обеспечивающих необходимое качество стеклопластика, то есть должна быть определенная взаимосвязь между параметрами, позволяющая при вынужденной вариации одного или нескольких из них найти соответствующие значения других таким образом, чтобы их соотношение было близко к оптимальному.

Установление конкретных зависимостей между параметрами формования в полном объеме затруднительно, однако взаимосвязь между отдельными величинами можно определить на основании экспериментальных данных с использованием известных физических закономерностей. Так, скорость намотки, расстояние от нагревателя до поверхности оболочки и мощность излучателя определяют зависимый параметр – температуру формируемой поверхности.

Пусть допускаются вариации скорости намотки, расстояния до облучаемой поверхности, напряжения на нагревателе при постоянной температуре формования. Температура на поверхности стеклопластиковой оболочки зависит от величин, характеризующих источник излучения, теплофизических свойств нагреваемого материала, толщины оболочки, условий отвода тепла и других факторов. При сохранении постоянства всех основных параметров вариация подводимой энергии приводит к соответствующему изменению температуры поверхности оболочки. Можно предположить, что приращение температуры  $\Delta T$  пропорционально плотности потока энергии ИК излучения  $E$ . Тогда за время  $t$

$$\kappa \Delta T = E \Delta t, \quad (1)$$

где  $\kappa$  – коэффициент пропорциональности.

Полный дифференциал температуры

$$dT = tdE + Edt. \quad (2)$$

В терминах фотометрии энергетическая облученность поверхности

$$E = \frac{I \cos \alpha}{r^2}, \quad (3)$$

где  $I$  – сила излучения,  $\alpha$  – угол падения лучистого потока,  $r$  – расстояние от нагревателя до поверхности оболочки.

Схему нагрева можно построить таким образом, что  $\alpha = 0^0$ . С учетом принятого допущения

$$dE = \frac{dI}{r^2} - 2 \frac{I dr}{r^3}. \quad (4)$$

Время нахождения точки поверхности вращающейся оболочки в зоне облучения

$$t = \frac{L}{V_e}, \quad (5)$$

где  $L$  – длина дуги поверхности оболочки, охватываемая зоной облучения нагревателя,  $V_e$  – линейная скорость намотки.

С учетом того, что исходным условием является сохранение постоянства температуры формования, можно положить  $dT = 0$ . Тогда

$$dE = - \frac{E}{t} dt \quad (6)$$

или

$$dI - \frac{2I dr}{r} - \frac{I dV_e}{V_e} = 0. \quad (7)$$

Вариации силы излучения нагревателя  $I$  в конкретной схеме облучения можно считать пропорциональными вариациям напряжения  $U$ , подаваемого на нагреватель,

$$dI = AdU,$$

где  $A$  – коэффициент пропорциональности.

Соотношение (7) можно записать в виде

$$dU - \frac{2U}{r} dr - \frac{U}{V_e} dV_e = 0. \quad (8)$$

Приведенное выражение (8) определяет связь между скоростью намотки, напряжением на нагревателе и расстоянием до поверхности оболочки при фиксированной температуре нагрева.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Манько Т.А., Ермолаев И.М., Волков Н.И., Щенева В.Б., Соловьев А.В., Рябовол А.А. // Электронная обработка материалов. 1994. № 1. С.74–75.
2. Манько Т.А., Щенева В.Б., Ермолаев И.М., Волков Н.И., Рябовол А.А. // Техническая механика. 1998. Вып.7. С.142–145.

Поступила 18.05.07

## Summary

The circuit of level-by-level shaping of envelopes with local serial heat of a zone by an IR emitter is considered. The ratio, defining connection between a velocity of winding, voltage on the heater and distance up to a surface of envelope is indicated at constant heating temperature.