

$$\rho u_0 R_1 c \left[ \frac{\partial \Theta}{\partial t} + \frac{1}{r} \left( \frac{\partial r u \Theta}{\partial r} \right) \right] = \frac{1}{r} \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( r \lambda \frac{\nabla \Theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left( r \lambda \frac{\partial \Theta}{\partial r} \right) \right]. \quad (11)$$

Начальные условия по скорости получаются из решения стационарных уравнений движения в канале при изотермическом процессе  $T = T_{01}$ . Для этого стационарные уравнения количества движения, которые получаются из выражений (7), (8) при приравнивании нулю локальных производных по времени  $\partial u / \partial t = 0$ , решаются при постоянных физических свойствах жидкости, соответствующих начальной температуре  $T - T_{01}$  и полученные поля скорости и давления принимаются за начальные условия. Формулировка граничных условий для давления будет дана при рассмотрении численного метода.

УДК 536.7+66.047

### **Экспериментальные исследования процессов сушки теплозащитных композиционных материалов и покрытий**

Есьман Р.И., Шевцов В.Ф.

Белорусский национальный технический университет

В рамках ГППИ "Сушка" был разработан экспериментальный универсальный стенд и проведены исследования процессов сушки и термообработки композиционных материалов и покрытий, обладающих теплозащитными свойствами.

Рабочая камера экспериментального стенда для исследования процессов сушки композиционных материалов и покрытий позволяет подвергать исследуемые образцы воздействию терморadiационного потока при использовании источника излучения мощностью до 500 Вт. С целью исследования пространственного распределения потока излучения исследуемых обогревателей выполнены калориметрические измерения среднего интегрального потока теплового излучения и облученности нормальной к оси поверхности с использованием калориметра излучения ИМО-2. Калориметр излучения ИМО-2 имеет диапазон чувствительности в области длин волн 0,33-10,6 мкм, позво-

ляет детектировать среднюю мощность излучения в интервале  $3 \cdot 10^{-4} - 100 \text{ Вт/см}^2$  и обеспечивает погрешность 3%. Его преимуществами являются широкий диапазон чувствительности и встроенный источник калибровки. Измерения показывают, что средняя мощность потока излучения составляет  $0,2 \text{ Вт/см}^2$ , ее значение регулируется изменением расстояния образца до источника излучения, а спектральный диапазон источника — регулятором электрической мощности.

В условиях теплоотдачи излучением на нагреваемой облучателем пластине при наступлении стационарного режима, тепловой поток передаваемый поверхностью во внешнюю среду излучением равен:

$$P = \tau \varepsilon \sigma T^4 S. \quad (1)$$

где:  $\tau$  - коэффициент ИК-пропускания среды;  $\varepsilon$  - интегральный коэффициент излучения нагретой поверхности;  $T$  - температура поверхности;  $S$  - площадь поверхности. Величина данного потока определяется мощностью излучения, получаемой поверхностью от облучателя и теплопотерями в окружающую среду. Тогда энергетический баланс системы определяется из:

$$P = \alpha (T - T_0) S_0, \quad (2)$$

где:  $\alpha$  - коэффициент теплопередачи в окружающую среду;  $T_0$  - температура окружающей среды;  $S_0$  - площадь теплопередающей поверхности.

Удельный тепловой поток с поверхности пластины в воздушную среду при учете конвекции и излучения составляет:

$$P = \varepsilon \sigma (T^4 - T_0^4) + \alpha (T - T_0). \quad (3)$$

Определим характерные значения констант и безразмерных комплексов. При условии  $T_0 = 300\text{К}$ ;  $T = 343\text{К}$ ; получаем:  $\beta = 1/324$ ;

$\nu = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 \text{ с}^{-1}$ ;  $\lambda_g = 2,83 \cdot 10^{-2} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \text{ К}^{-1}$ ;  $Pr = 0,698$ ;  $Gr = 4,7 \cdot 10^6$ ;  $Ra = 3,22 \cdot 10^6$ .

Для нахождения коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  воспользуемся обобщенной зависимостью:

$$Nu^{\frac{1}{2}} = 0,825 + 0,387 \cdot Ra^{\frac{1}{6}} \left[ 1 + (0,437 / Pr)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}. \quad (4)$$

Чтобы рассчитать перепад температуры в воздушном зазоре между образцом и стенкой, определим значения констант и безразмерных комплексов:  $\lambda_g = 2,83 \cdot 10^{-2} \text{Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}$ ;  $\beta = 1/324$ ;  $\nu = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ ;  $\text{Pr} = 0,698$ ;  $\text{Gr} = 1,8 \cdot 10^6$ ;  $\text{Ra} = 1,26 \cdot 10^6$ . Для нахождения  $\alpha_g$  воспользуемся обобщенной зависимостью:

$$Nu = 0,42 \cdot \text{Pr}^{0,012} (H/h)^{-0,3} \text{Ra}^{0,25}, \quad (1.11)$$

из которой получаем:  $Nu = 4,82$ ;  $\alpha_g = Nu \cdot \lambda_g/h = 48$ .

Тогда расчетное значение температурного перепада в воздушном зазоре составит:  $\Delta T = \Delta P/\alpha_g = 30\text{К}$ , что соответствует условиям эксперимента.

Результаты измерений температуры поверхности модельного образца (текстолит) в процессе лучистого нагрева представлены на рис.1. Данные показывают, что температура отслеживает динамику лучистого нагрева образца с достаточной точностью и позволяет оценить тепловую инерцию образца, связанную с изменением  $\lambda_r$  и  $C_p$ .

Для контроля кинетики обработки сложных полимерных композиций в процессе их получения применение контактных методов может сопровождаться исследованием потока ИК-излучения. Результаты измерений, выполненные с помощью calorimetra излучения ИМО-2 показывают согласование кривой потока излучения и термограммы при условии отсутствия фазовых превращений в образце, связанного с отверждением полимерных композиций. С целью исследования процессов отверждения возможно использование дополнительного оборудования, включающего приемники излучения для оптического контроля полимеризации. Такие измерения можно использовать при исследовании кинетики отверждения полимерных смол, оптимизации свойств изделий, расчетах тепловых эффектов.

Выполненные измерения и испытания рабочих параметров экспериментального стенда для исследования процессов сушки композиционных материалов и покрытий показывают, что их значения соответствуют расчетным, а предложенные аппаратные средства и методики измерений обеспечивают возможность исследования кинетики процессов сушки композиционных материалов и покрытий.

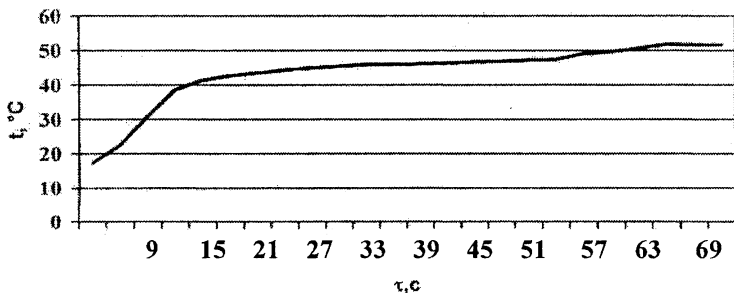


Рис. 1. Зависимость температуры поверхности модельного образца от времени в условиях лучистого нагрева в камере обработки полимерных композиций

УДК 697.32

### Проблемы создания отечественных инфракрасных излучателей

Седнин В.А., Кичаев М.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время поиск решения проблем экономии топливно-энергетических ресурсов занимает ведущее место не только в нашей стране, но во всем мире. Для Республики Беларусь эта проблема стоит особенно остро, так как наша страна не обладает достаточным количеством топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) необходимых для независимой жизнедеятельности предприятий и населения.

Одним из направлений развития национальной программы энергосбережения является децентрализация отопительных систем и поиск современных технологий отопления производственных помещений, основанных на более эффективном использовании тепловой энергии. На сегодняшний день одним из вариантов решения проблемы отопления производственных помещений является использование инфракрасных излучателей. Опыт создания подобных систем отопления в Республике уже существует, практике их применения доказала свою эффективность.

Выбор инфракрасных излучателей для целей отопления эффективен и оправдан в тех случаях, когда объектом использова-