

УДК 772.96

DOI: 10.17223/00213411/62/6/159

Д.Ю. ГОЛОВИН¹, А.И. ТЮРИН¹, А.А. САМОДУРОВ¹, А.Г. ДИВИН², Ю.И. ГОЛОВИН¹**НОВЫЙ ЭКСПРЕСС-МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРИМЕРЕ ЦИРКОНИЕВОЙ КЕРАМИКИ*****Ключевые слова:** сфокусированный лазерный пучок, точечный импульсный нагрев, нестационарное тепловое поле, инфракрасное излучение, тепловизор, температуропроводность, стабилизированная циркониевая керамика.

Известные способы определения коэффициентов тепло- и температуропроводности обладают рядом недостатков (необходимость приготовления образца определенной геометрии, низкая производительность и др. [1]). Целью исследования была разработка простого подхода для безобразцового экспресс-анализа температуропроводности α массивного объекта. Способ основан на «точечном» нагреве участка поверхности образца лучом лазера с локализацией порядка 0.1–1.0 мм, регистрации формирующегося в результате такого нагрева динамического температурного поля на поверхности образца с помощью тепловизора (рис. 1) и его последующей компьютерной обработке.

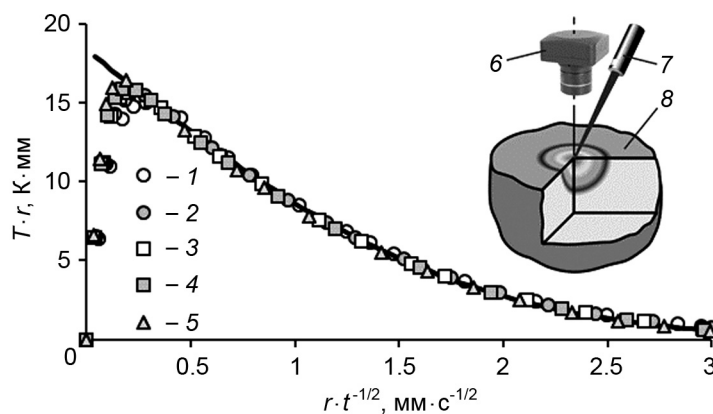


Рис. 1. Экспериментальные радиальные распределения температуры в координатах $(r \cdot t^{-1/2}, T \cdot r)$ для разных моментов времени t (точки) и их аппроксимация дополнительной функцией ошибок (сплошная кривая): 1 – $t = 2$ с; 2 – $t = 3$ с; 3 – $t = 4$ с; 4 – $t = 5$ с; 5 – $t = 6$ с. На вставке показана схема эксперимента (6 – тепловизор, 7 – лазер, 8 – исследуемый образец)

Структура аналитического решения задачи о распространении тепловой волны в полупространстве, формируемой внешним подводом тепла к круговой области на его границе, весьма сложна и включает бесконечные ряды специальных функций. Даже в приближении, в котором тепловыделение происходит не на поверхности, а внутри полусферы, точное решение имеет весьма сложный вид [2], малоприменимый для анализа экспериментальных данных. Кроме того, любые точные решения зависят от плохо известного распределения подводимой энергии в пятне нагрева. Однако для расстояний и времен, в несколько раз превышающих радиус пятна нагрева и время Фурье для него, с точностью порядка 1 % зависимость температуры T от радиуса r и времени t может быть аппроксимирована в виде выражения [3]

$$T(r, t) = \frac{B}{r} \operatorname{erfc} \left(\frac{r}{2\sqrt{kt}} \right), \quad (1)$$

где $\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty e^{-y^2} dy$ – дополнительная функция ошибок; B – некоторая константа, зависящая от подводимой энергии, радиуса пятна нагрева и теплопроводности материала.

* Разработка методики и портативного прибора для оперативной диагностики теплофизических свойств выполнены при поддержке гранта РНФ (проект № 15-19-00181). Разработка аналитических и численных моделей выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект № 17-48-680817). Определение теплофизических свойств циркониевых керамик выполнено при поддержке гранта Минобрнауки РФ (проектная часть госзадания, проект № 16.2100.2017/4.6).

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>