

УДК 536.629

Р.В. Пугачев

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ
В МЕТОДАХ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗА СЧЕТ УМЕНЬШЕНИЯ ВРЕМЕНИ РЕЛАКСАЦИИ
ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЗОНДАХ НА СТАДИИ ПОДГОТОВКИ
К ПОСЛЕДУЮЩЕМУ ИЗМЕРЕНИЮ**

Известно, что производительность измерений в методах неразрушающего контроля (НК) теплофизических свойств (ТФС) материалов и готовых изделий зависит не только от продолжительности самого теплофизического эксперимента (времени активного теплового воздействия на исследуемый объект, контроля и фиксирования необходимой измерительной информации), но и от продолжительности подготовительных операций между активными экспериментами, основное время из которых занимает охлаждение измерительной головки зонда до температуры окружающей среды или исследуемых объектов. Практика теплофизических измерений показывает, что время охлаждения подложек измерительных зондов (время релаксации температурных полей в измерительных зондах) составляет не менее 30...40 мин, тогда как активный этап эксперимента в методах НК ТФС материалов составляет не более 3...5

мин. Поэтому сокращение времени релаксационных температурных процессов в измерительных зондах позволит уменьшить интервал времени между активными стадиями теплофизических экспериментов, что в итоге существенно повысит эффективность и производительность эксплуатации средств НК ТФС в практике теплофизических измерений.

В статье предлагается новый метод, позволяющий существенно повысить производительность измерений средств НК ТФС изделий. Суть его состоит в следующем. В термозонде для реализации методов неразрушающего контроля [1], содержащем корпус со встроенной в него измерительной головкой, на поверхности подложки которой размещены линейный нагреватель и термочувствительные элементы в виде термобатареи, состоящей из двух последовательно соединенных дифференциальных термопар, электроды которых расположены в канавках теплоизолятора параллельно линии нагревателя и на заданном расстоянии от него, заменяют материал теплоизоляционной подложки с низкой теплопроводностью на материал с более высокой теплопроводностью (не менее, чем на порядок), а также помещают датчик теплового потока внутрь подложки на расстоянии, равном половине толщины подложки в плоскости, проходящей через линию нагревателя и перпендикулярно контактной плоскости.

При проведении первого измерения измерительная головка приводится в контакт с поверхностью исследуемого объекта и от нагревателя подается тепловое воздействие импульсами определенной частоты и мощности. При этом с основной термобатареи снимается информация о температурно-временных изменениях в плоскости контакта подложки измерительной головки термозонда и поверхности исследуемого объекта, а также датчиком теплового потока производится измерение теплового потока, поступающего в подложку с момента начала эксперимента и до момента окончания теплового воздействия от линейного источника тепла. После получения необходимой информации о температурно-временных изменениях в плоскости контакта термозонда и исследуемого объекта прекращают тепловое воздействие от источника тепла. Термозонд снимают с поверхности объекта и помещают контактной поверхностью измерительной головки на полубесконечный в тепловом отношении образец из материала, близкого по теплофизическим свойствам к материалу подложки термозонда, а искомые теплофизические свойства определяют по соотношениям:

$$a = \frac{x^2}{4} \frac{\frac{T_1}{\Delta\tau^2} \sum_{i=1}^{n^2} \frac{1}{i^2} - \frac{T_2}{\Delta\tau^2} \sum_{i=1}^{n^1} \frac{1}{i^2}}{\frac{T_1}{\Delta\tau} \sum_{i=1}^{n^2} \frac{1}{i} - \frac{T_2}{\Delta\tau} \sum_{i=1}^{n^1} \frac{1}{i}}; \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{Q}{2\pi T_1 \Delta\tau} \sum_{i=1}^{n^2} \frac{1}{i} \exp\left(-\frac{x^2}{4a\Delta\tau i}\right), \quad (2)$$

ГДЕ I – РЯД НАТУРАЛЬНЫХ ЧИСЕЛ, $\tau_i = \Delta\tau I$; $\Delta\tau$ – ВРЕМЯ МЕЖДУ ИМПУЛЬСАМИ; Q_I – МОЩНОСТЬ, ВЫДЕЛЯЕМАЯ I -ЫМ ИМПУЛЬСОМ, ВТ/М; λ – ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ МАТЕРИАЛА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ ПОДЛОЖКИ, ВТ/М·К; A – ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТЬ МАТЕРИАЛА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ ПОДЛОЖКИ, М²/С; X – РАССТОЯНИЕ ОТ ЛИНЕЙНОГО ИСТОЧНИКА ТЕПЛА ДО ТОЧКИ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПЛОСКОСТИ КОНТАКТА ПОДЛОЖКИ И ИССЛЕДУЕМОГО ОБРАЗЦА, М; N – ЧИСЛО ИМПУЛЬСОВ; T_1, T_2 – ЗНАЧЕНИЕ КОНТРОЛИРУЕМОЙ ИЗБЫТОЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В МОМЕНТЫ ВРЕМЕНИ τ_1 И τ_2 СООТВЕТСТВЕННО.

ТАК, КАК ТЕПЛОПРОВОДЯЩАЯ ПОДЛОЖКА В ПРЕДЛАГАЕМОМ ЗОНДЕ ВЫПОЛНЕНА ИЗ МАТЕРИАЛА С БОЛЕЕ ВЫСОКОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬЮ, ТО ЧАСТЬ ТЕПЛА БУДЕТ УХОДИТЬ В ПОДЛОЖКУ, ЧТО ОПИСЫВАЕТСЯ ВЫРАЖЕНИЕМ

$$T(x, \tau_i) = \sum_{i=1}^n \frac{Q - \Delta Q}{2\pi\lambda\tau_i} \exp\left(-\frac{x^2}{4a\tau_i}\right), \quad (3)$$

ГДЕ ΔQ – ТЕПЛО, КОТОРОЕ ПОСТУПАЕТ В ТЕПЛОПРОВОДЯЩУЮ ПОДЛОЖКУ С ВЫСОКОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬЮ, ИЗМЕРЕННОЕ ПОМЕЩЕННЫМ В НЕЕ ДАТЧИКОМ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА.

РАСЧЕТ РАСХОДА ТЕПЛА ΔQ В ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННУЮ ПОДЛОЖКУ ПРОВОДИТСЯ ПО ФОРМУЛЕ [2]

$$\Delta Q = \int_{\tau_1(S)}^{\tau_2} \int \lambda \left(\frac{\partial T}{\partial h} \right) dS d\tau, \quad (4)$$

ТАК КАК $q = \lambda \frac{\partial T}{\partial h}$, ТО ФОРМУЛА (4) МОЖЕТ БЫТЬ ЗАПИСАНА В ВИДЕ

$$\Delta Q = S \int_{\tau_1}^{\tau_2} q d\tau = Sq\Delta\tau, \quad (5)$$

где S – площадь датчика теплового потока; h – толщина подложки; $\Delta\tau$ – время поступления теплового потока в теплоизоляционную подложку, т.е. время от начала подачи теплового воздействия (время начала эксперимента) до времени окончания снятия всей измерительной информации: T_i, q_i .

Используя соотношения (4-5), определяется количество тепла, ушедшее в подложку, что позволяет внести соответствующую коррекцию при расчете искомых ТФС по соотношениям (1-2).

Расчетные и экспериментальные данные показали что, замена материала теплоизоляционной подложки с низкой теплопроводностью на материал с более высокой теплопроводностью позволяет сократить время устранения температурного градиента по всему объему подложки (усреднение температуры) до 10...15 мин В результате этого можно в 2-3 раза уменьшить время температурных релаксационных процессов в подложке зонда и увеличить производительность измерений в целом (табл. 1).

Кроме того, дополнительно размещенный в теплоизоляционной подложке датчик теплового потока позволил учесть ранее неучтенные тепловые потери в подложку, что повысило точность измерений в среднем на 7...10 %.

1 Время устранения температурного градиента (релаксации) в зависимости от материала теплоизоляционной подложки толщиной 8 мм при одинаковом количестве импульсов n и одинаковой мощности, через $\Delta\tau = 1$ с

Материал	Свойства материала		Время устранения температурного градиента, с		
	$A, \text{М}^2/\text{С}$	$\Lambda, \text{ВТ}/\text{М}\cdot\text{К}$	$n = 40$	$n = 50$	$n = 60$
РИПОР	$4,61 \cdot 10^{-7}$	0,028	270	310	370
ОРГ-СТЕКЛО	$1,06 \cdot 10^{-7}$	0,195	130	160	190
КВАРЦ	$8,74 \cdot 10^{-7}$	1,35	10	11	13

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННЫХ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗРАБОТАННОГО ТЕРМОЗОНДА ПОДТВЕРЖДАЮТ КОРРЕКТНОСТЬ ВЫШЕПРИВЕДЕННЫХ ВЫВОДОВ О ПОВЫШЕНИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ С СОХРАНЕНИЕМ ТРЕБУЕМОЙ ДЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ТОЧНОСТИ. ПОЭТОМУ МОЖНО ПРЕДПОЛОЖИТЬ, ЧТО В СТАТЬЕ ПОДХОД НАЙДЕТ ШИРОКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ В ПРАКТИКЕ НК ТФС МАТЕРИАЛОВ И ГОТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ.

- 1 ПАТ. РФ № 2170423 РФ. ТЕРМОЗОНД ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ И ГОТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ / В.Н. ЧЕРНЫШОВ, З.М. СЕЛИВАНОВА. ЗАРЕГИСТРИРОВАН 10.07.2001.**
- 2 ЛЫКОВ А.В. ТЕОРИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ. М.: ВЫСШАЯ ШКОЛА, 1967. 599 С.**

КАФЕДРА "КРИМИНАЛИСТИКА И ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ПРАВОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ"