

ТЕРМОЗОНД ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТФС ТВЕРДЫХ МАТЕРИЛОВ

В связи с ростом объема экспериментальных исследований по определению характеристик различных материалов особую значимость приобретают тепловые методы и средства неразрушающего контроля, позволяющие оперативно и достоверно определить качество исследуемых материалов и изделий по их теплофизическим свойствам (ТФС).

Основным элементом измерительного канала процессорных средств теплофизических измерений является термозонд, предназначенный для проведения температурно-временных измерений в исследуемом объекте.

В термозонде для неразрушающего контроля теплопроводности материалов [1] температурно-временные измерения в процессе проведения эксперимента осуществляются с помощью термобатарей, расположенной на поверхности теплоизоляционной подложки из материала с низкой теплопроводностью. Кроме того, после окончания эксперимента проводят измерения момента устранения температурного градиента по всему объему теплоизоляционной подложки дополнительно размещенными внутри теплоизоляционной подложки термобатареями, что является необходимым условием для проведения очередного эксперимента.

Недостатком такого устройства является низкая производительность измерений, обусловленная значительным временем устранения температурного градиента по объему теплоизоляционной подложки. Кроме того, измерительная процедура характеризуется дополнительной погрешностью, обусловленной аккумулярованием неучтенного тепла в теплоизоляционную подложку в процессе проведения эксперимента.

Повышение оперативности и точности проводимых теплофизических измерений в рассматриваемом устройстве может быть достигнуто следующим изменением конструкции измерительной головки термозонда.

Процесс остывания в условиях термозонда, т.е. когда теплоотвод идет только с одной стороны контактной поверхности подложки зонда, занимает значительное время, обусловленное теплофизическими свойствами материала, а необходимым условием для проведения повторного эксперимента в зонде-прототипе является отсутствие температурного градиента по всему объему теплоизоляционной подложки, который должен быть зафиксирован дифференциальными термопарами. Так как, материал подложки – теплоизолятор, то момент устранения температурного градиента ΔT в подложке занимает продолжительное время. Однако это время можно уменьшить, заменив подложку из материала с низкой теплопроводностью на теплоизоляционную подложку из материала с более высокой теплопроводностью. Но тогда возникает следующая проблема – это неучтенное тепло, которое будет утекать в теплопроводящую подложку с более высокой теплопроводностью. Это тепло определяется датчиком теплового потока, дополнительно размещенным в теплоизоляционной подложке на заданном расстоянии от ее контактной поверхности.

Нагрев образца с использованием известного зонда осуществляется тепловыми импульсами, а температурное поле в этом случае описывается формулой:

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

где Q_i – мощность, выделяемая нагревателем i -тым 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 – количество импульсов, $\tau_i = i\Delta\tau$, $\Delta\tau$ – интервал времени между импульсами, i – натуральный ряд чисел.

Так как теплоизоляционная подложка в предлагаемом устройстве выполнена из материала с более высокой теплопроводностью, то часть тепла будет уходить в подложку, тогда формулу (1) можно записать:

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

где Q_i – мощность, выделяемая нагревателем i -ым импульсом; ΔQ_i – тепло, которое поступает за i -ый в теплопроводящую подложку с высокой теплопроводностью, измеренное помещенным в нее датчиком теплового потока.

В известном зонде считается, что теплоизоляционная подложка представляет собой теплоизолятор и составляющая ΔQ равна нулю. Но в природе абсолютных теплоизоляторов из твердых материалов не бывает, поэтому часть неучтенного тепла от линейного нагревателя ΔQ уходит в теплоизоляционную подложку и вносит дополнительную погрешность при дальнейшем определении измеряемых характеристик. В предлагаемом устройстве, часть тепла уходящего в теплоизоляционную подложку, регистрируется датчиком теплового потока, что и повышает точность измерений.

Расчет расхода тепла ΔQ в теплоизоляционную подложку проводится по формуле [2]:

$$\Delta Q = \int_{\tau_1(S)}^{\tau_2} \int \lambda \left(\frac{\partial T}{\partial h} \right) dS d\tau, \quad (3)$$

где $q = \lambda \frac{\partial T}{\partial h}$, поэтому:

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. В.Н. Чернышова.

$$\Delta Q = S \int_{\tau_1}^{\tau_2} q d\tau = Sq\Delta\tau, \quad (4)$$

где S – площадь датчика теплового потока; $\Delta\tau$ – 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, h – толщина подложки.

Геометрические размеры датчика теплового потока выбираются в зависимости от теплофизических свойств материала теплоизоляционной подложки.

Так в предлагаемом устройстве в качестве материала теплоизоляционной подложки используется материал с более высокой теплопроводностью, и это позволило уменьшить время устранения температурного градиента внутри подложки. Время устранения температурных градиентов в разных материалах приведено в нижеследующей табл. 1.

1 Время устранения температурного градиента в материалах с разными ТФС

Материал	Свойства материала		Время устранения температурного градиента, с		
	$a, \text{ м}^2/\text{с}$	$\lambda, \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$	$n = 40$	$n = 50$	$n = 60$
Рипор	$4,61 \cdot 10^{-7}$	0,028	270	310	370
Оргстекло	$1,06 \cdot 10^{-7}$	0,195	130	160	190
Кварц	$8,74 \cdot 10^{-7}$	1,35	10	11	13

Помимо этого, в предлагаемом устройстве удалось повысить точность измерений за счет регистрации утечек тепла в теплоизоляционную подложку. Результаты приведены в табл. 2.

2 Анализ погрешностей результатов измерений

Исследуемые образцы	Эталонные значения		Измеренные значения		Относительная погрешность измерения	
	$a, \text{ м}^2/\text{с}$	$\lambda, \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$	Прототип	Заявлено	Прото тип	Заявлено
			$\lambda, \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$	$\lambda, \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$	$\delta, \%$	$\delta, \%$
Рипор	$4,61 \cdot 10^{-7}$	0,028	0,0265	0,0277	7,2	1,8
Оргстекло	$1,06 \cdot 10^{-7}$	0,195	0,208	0,197	8,1	1,5

Результаты эксперимента показали, что за счет замены материала теплоизоляционной подложки увеличилась оперативность измерений в 2-3 раза, а также повысить точность измерений на 5...7 %. Указанные обстоятельства позволяют эффективно применять разработанный термозонд в практике измерений ТФС материалов и изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 А.с. № 2170423 РФ, МКИ G 01N 25/18. Термозонд для неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов и готовых изделий / В.Н. Чернышов и др. № 2000112296/28. Заявл. 16.05.2000; Оpubл. 10.07.2001, Бюл. № 47. 10 с.

2 Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967. 599 с.