

УДК 620.1.05

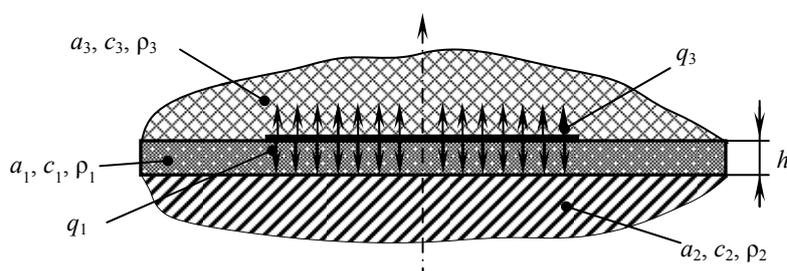
*А. Ю. Ярмизина, В. Д. Попов, О. Н. Попов\**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ  
ПОКРЫТИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

Среди известных методов теплового контроля следует выделить контактные методы неразрушающего контроля (НК), использующие модель плоского полупространства при регуляризации тепловых режимов в локальной области исследуемого объекта [1].

Получены расчетные зависимости для теплового НК покрытий на металлических основаниях при использовании измерительного зонда (ИЗ) с круглым плоским нагревателем постоянной мощности.

Тепловая схема метода представлена на рис. 1. На поверхности двухслойного тела расположен нагреватель постоянной мощности

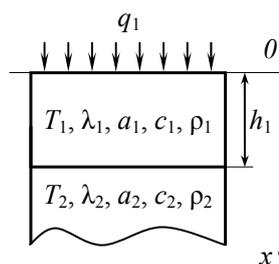


**Рис. 1. Тепловая схема**

в виде тонкого диска радиусом  $R_n$ , встроенного в подложку ИЗ с теплофизическими свойствами  $\lambda_3, c_3, \rho_3$ . Через нагреватель в материал подается тепловой поток постоянной мощности  $q_1$ . Первый слой – полимерный с теплофизическими свойствами  $\lambda_1, c_1, \rho_1$ ; второй – металлический с теплофизическими свойствами  $\lambda_2, c_2, \rho_2$ . Толщина первого слоя –  $h_1$ , второго –  $h_2$ .

Математически задача распределения тепла в рассматриваемой системе (рис. 2) может быть записана в виде прямой задачи теплопроводности [1, 2].

Решение имеет вид [1, 2]



**Рис. 2. Схема системы, состоящей из ограниченного и полуограниченного тел**

\* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «ТГТУ» Н. Ф. Майниковой.

$$T_1(0, \tau) = \frac{2q}{\sqrt{\pi}} \frac{\sqrt{\tau}}{\varepsilon_2} + \left(1 - \frac{\varepsilon_1^2}{\varepsilon_2^2}\right) \frac{qh_1}{\lambda_1}. \quad (1)$$

Выражение (1) представляет собой линейную зависимость вида:

$$T(0, \tau) = b_1 \sqrt{\tau} + b_0, \quad (2)$$

где

$$b_1 = \frac{2q}{\sqrt{\pi} \varepsilon_2}.$$

Объект исследования – двухслойное тело, первый слой которого низкотеплопроводный, а второй – высокотеплопроводный, т.е.  $\lambda_1 \ll \lambda_2$ , тогда  $\varepsilon_1 \ll \varepsilon_2$ .

Следовательно,

$$b_0 = \left(1 - \frac{\varepsilon_1^2}{\varepsilon_2^2}\right) \frac{qh_1}{\lambda_1} \approx \frac{qh_1}{\lambda_1}. \quad (3)$$

Из выражения (3) следует, что

$$\lambda_1 = \frac{h_1 b_0}{q}. \quad (4)$$

Из выражений (3 и 4), зная  $h_1$ , можно определить  $\lambda_1$  при реализации одномерного распространения тепла и режима регуляризации.

Измерительная схема метода представлена на рис. 3.

Длина и ширина изделия:  $L_1$  и  $L_2$ . Подложка ИЗ выполнена из Рипора – хорошего теплоизолятора, что обеспечивает реализацию адиабатического режима нагрева. В месте соприкосновения поверхностей тел с нагревателем осуществляется идеальный тепловой контакт. Воздействие на исследуемое тело осуществляется с помощью нагревателя  $R_n$ . Температура в точках контроля измеряется с помощью термоэлектрических преобразователей (ТП1) и (ТП2). Метод неразрушающего определения теплопроводности реализован с помощью разработанной измерительной системы на примере НК акрилатного покрытия на металлическом основании [3].

В момент времени, соответствующий началу активной стадии эксперимента, на нагреватель подают постоянную электрическую мощность, что позволяет задать постоянную во времени величину теплового потока  $q$ . В ходе эксперимента фиксируется термограмма – зависимость значений температуры ( $T$ ) в точках контроля от времени.

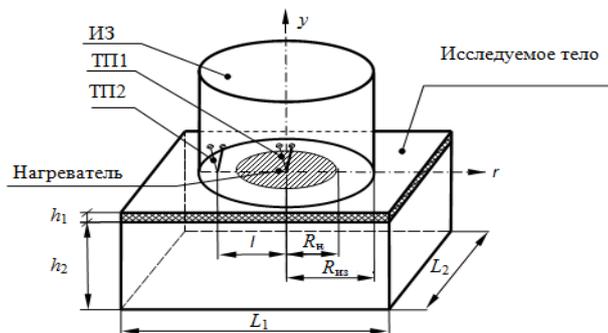


Рис. 3. Измерительная схема

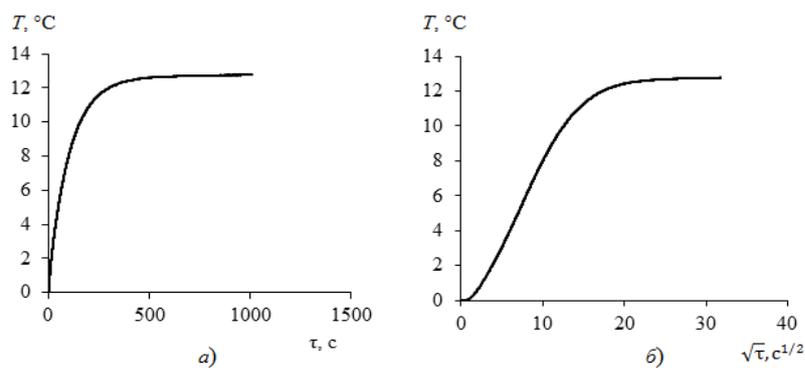


Рис. 4. Термограмма (а) и зависимость  $T_1 = f(\sqrt{\tau})$  (б)

Результаты экспериментов

№ опыта	$h_{1н}$ , м	$\lambda_{1н}$ , Вт/(м·К)	$b_0$	$\lambda_1$ , Вт/(м·К)	$\delta = \left  \frac{\lambda_{1н} - \lambda_1}{\lambda_{1н}} \right  100\%$
1	0,00049	0,1	49,9677	0,096	4
2	0,00005	0,1	51,0201	0,096	4
3	0,00052	0,1	53,1249	0,095	5
4	0,00054	0,1	55,2298	0,095	5

Здесь  $h_{1н}$  – толщина покрытия, измеренная с помощью микрометра.

Испытаниям подвергали четыре изделия с различными толщинами покрытий (таблица), измеренными микрометром.

Режимные характеристики: теплопроводность материала покрытия – 0,1 Вт/(м·К); временной шаг измерения температуры – 0,25 с; радиус

нагревателя – 0,004 м; время проведения экспериментов 900 с; мощность теплового воздействия на нагревателе – 9753 Вт/м<sup>2</sup>.

На основании снятых термограмм определены коэффициенты математической модели  $b_0$  для четырех опытов (таблица). Проведена линия тренда. По  $b_{0i}$  (где  $i = 1 \dots 4$ ) построена зависимость  $b_0 = f(h_{1и})$ .

Построен график зависимости  $\lambda_1 = f(b_0)$ . Определены значения  $\lambda_1$  по зависимости (4). Результаты экспериментов (таблица) подтверждают работоспособность метода НК теплопроводности полимерных покрытий на изделиях из металла.

### Список литературы

1. *Теоретическое обоснование теплового метода неразрушающего контроля двухслойных изделий* / И. В. Рогов, Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова, Н. В. Лунева // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2009. – № 9(23). – С. 93 – 99.

2. *Моделирование теплопереноса в методе неразрушающего контроля двухслойных материалов* / Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова, И. В. Рогов, А. О. Антонов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 19, № 3. – С. 506 – 511.

3. *Жуков, Н. П.* Многомодельные методы и средства неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов и изделий / Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова. – М. : Издательство Машиностроение-1, 2004. – 288 с.

*Кафедра «Энергообеспечение предприятий и теплотехника»  
ФГБОУ ВО «ТГТУ»*