

СОВРЕМЕННЫЕ ТВЕРДОФАЗНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ТЕОРИЯ, ПРАКТИКА И ИННОВАЦИОННЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ

*К 5-летию НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН
"Твердофазные технологии"*

*Материалы II Всероссийской
научно-инновационной
молодежной конференции
(с международным участием)
27-29 октября 2010 г.*



г. Тамбов · 2010

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В МЕТОДЕ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Попов О.Н., аспирант, Майникова Н.Ф.

*ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»,
teplotehnika@nnn.tstu.ru*

Большой объем исследований по определению качества, долговечности и надежности изделий, как из традиционных, так и вновь синтезируемых полимерных материалов, требуют создания новых эффективных методов и средств контроля. Среди них особое место занимают тепловые методы неразрушающего контроля (НК) и диагностики, позволяющие определять теплофизические свойства (ТФС) таких материалов.

Реализация метода НК ТФС усложнена тем, что тепловое воздействие и получение информации в ходе эксперимента возможно осуществлять только на ограниченном участке поверхности исследуемого объекта. Поэтому наиболее важной и сложной задачей при создании теплового метода НК ТФС является разработка математической модели, адекватно описывающей реальный теплоперенос в объекте исследования.

Анализ известных процессов измерения, их моделей и источников погрешностей показывает, что в пределах временного интервала измерения в тепловой системе происходят существенные изменения, которые не позволяют описывать весь процесс теплопереноса одной аналитической моделью с неизменными ограничениями и условиями. Неучет этого обстоятельства при определении ТФС ведет к существенному увеличению погрешностей.

Наиболее точно систематические и случайные составляющие погрешности могут быть учтены в методах контроля ТФС, основанных на регулярном тепловом режиме. Академиком *А.В. Лыковым* доказано, что регулярные тепловые режимы первого и второго рода имеют общее свойство, характеризующееся независимостью от времени отношения теплового потока в любой точке тела к потоку тепла на его поверхности. Математическая модель, описывающая термограмму, в данном случае чаще всего является линейной по параметрам или легко линеаризуется. Однако основная часть этих методов базируется на моделях для тел конечных размеров (пластина, цилиндр, шар). В то время как большая часть методов НК базируется на моделях полупространств (плоского, цилиндрического, сферического). Применительно к таким моделям следует говорить не о регулярном тепловом режиме для всего тела (так как оно принимается неограниченным), а о регуляризации теплового процесса только для какой-то определенной области тела. Следовательно, если проводить определение ТФС, основываясь только на участках термограммы, соответствующих

регуляризации теплового режима в области нагревателей и термоприемников, то, во-первых, расчетные соотношения будут более простыми и во многих случаях линейными по параметрам, во-вторых, систематические составляющие погрешности будут либо значительно меньшими, чем случайные, либо будут носить постоянный характер, т. е. не зависеть от времени [1].

На рис. 1 представлена измерительная схема разработанного метода НК.

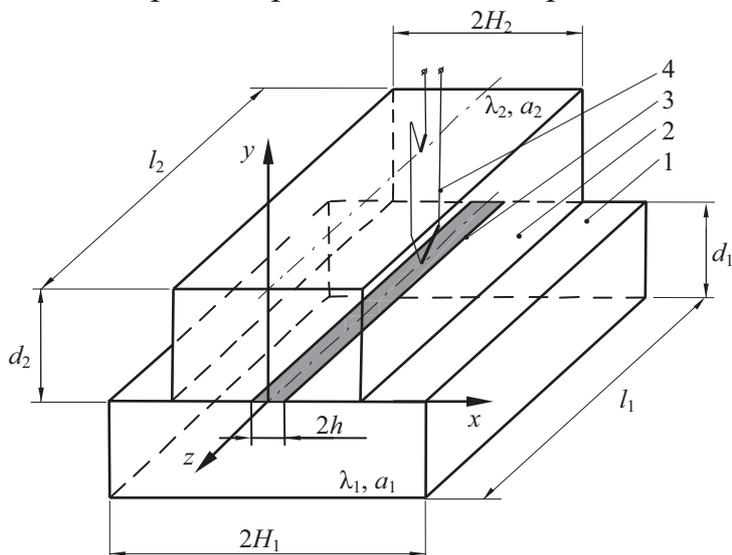


Рис. 1. Измерительная схема метода.
1 – изделие; 2 – измерительный зонд (ИЗ);
3 – нагреватель; 4 – термоприемник (ТП).

Тела 1 и 2 характеризуются различными теплофизическими свойствами: теплопроводностью (λ_1 и λ_2), температуропроводностью (a_1 и a_2) и теплоемкостью (c_1 и c_2). Размеры первого тела: длина – l_1 ; толщина – d_1 ; ширина – $2H_1$. Размеры второго тела: длина – l_2 ; толщина – d_2 ; ширина – $2H_2$. В плоскости контакта тел действует линейный источник тепла в виде полосы. Первое тело представляет собой

исследуемый образец из полимерного материала. Второе тело – подложка измерительного зонда (ИЗ). Начальная температура тел одинакова и равна T_0 . Источник тепла начинает действовать в начальный момент времени ($\tau = 0$). В месте соприкосновения поверхностей тел 1 и 2 (рис. 1) с нагревателем осуществляется идеальный тепловой контакт.

Перед тепловым воздействием измеряют разность значений температуры между двумя точками, первая из которых располагается в непосредственной близости от нагревателя, а вторая – на расстоянии d_2 от него, до тех пор пока эта разность температур не станет меньше наперед заданной величины.

Тепловое воздействие на тела осуществляется подавая на нагреватель электрический ток. Мощность нагревателя – q . В ходе эксперимента, фиксируется

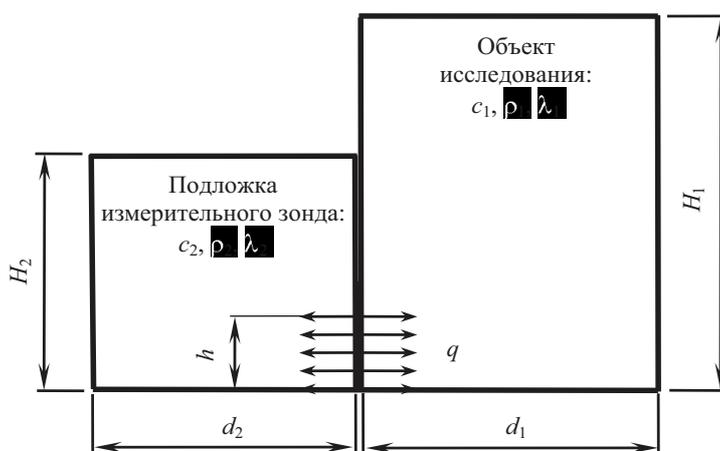


Рис. 2. Тепловая схема.

термограмма – зависимость разности значений температуры (T) в точках контроля от времени (τ).

На рис. 2. представлена тепловая схема системы, состоящей из двух полуограниченных тел, находящихся в идеальном тепловом контакте. В плоскости соприкосновения тел расположен линейный плоский нагреватель в виде полосы шириной $2h$.

Теплофизические свойства полуограниченных тел соответствовали теплофизическим свойствам полиэтилена высокой плотности марки П4020-Э (теплопроводность $\lambda = 0,5 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; теплоемкость $c_1 = 2400 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$; плотность $\rho = 938 \text{ кг/м}^3$) и рипора (теплопроводность $\lambda = 0,028 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; теплоемкость $c_2 = 1270 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$; плотность $\rho = 50 \text{ кг/м}^3$), используемого в качестве полочки ИЗ. Моделирование полей методом конечных элементов проводили с помощью пакета программ *ELCUT*.

На рис. 3 показано распределение температуры (T) от плоского линейного нагревателя постоянной мощности в системе двух полуограниченных тел (исследуемое полимерное изделие – подложка зонда) при идеальном тепловом контакте между ними при следующих условиях: время эксперимента $\tau_k = 60 \text{ с}$; шаг изотерм 2 К ; мощность нагревателя $q = 3000 \text{ Вт/м}^2$; время фиксирования значений температуры $\Delta\tau = 0,5 \text{ с}$ [2].

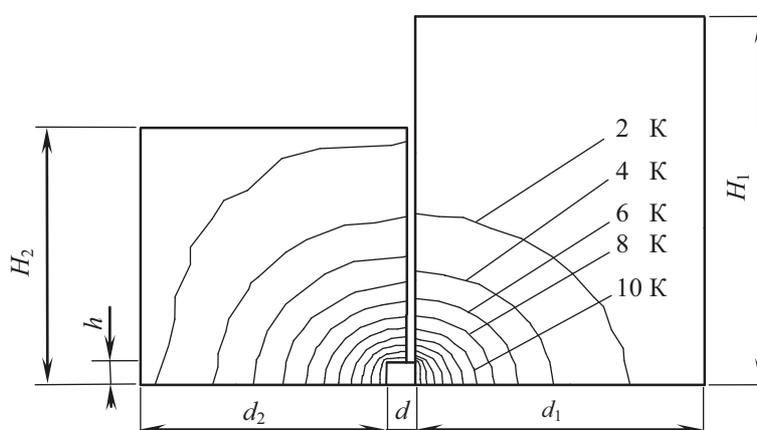


Рис. 3. Распределение температуры (T) от плоского нагревателя постоянной мощности в системе двух полуограниченных тел с разными ТФС.

Данные, представленные на рис. 3, свидетельствуют о том, что распределение температуры от плоского линейного нагревателя постоянной мощности в системе двух тел с разными ТФС близко к распределению тепла в цилиндрических полупространствах и его можно считать одномерным.

Список литературы

1. Жуков, Н.П. Многомодельные методы и средства неразрушающего контроля теплофизических свойств твердых материалов и изделий. / Н.П. Жуков, Н.Ф. Майникова // Монография. – М.: Машиностроение – 1, 2004. – 288 с.
2. ELCUT: моделирование двухмерных полей методом конечных элементов. Версия 5.5. Руководство пользователя. – СПб.: Производственный кооператив TOP, 2003. – 249 с.