

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В МЕТОДЕ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЯ

Сложность и большой объем экспериментальных исследований по определению качества, долговечности и надежности изделий, как из традиционных, так и вновь синтезируемых 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 контактного метода НК ТФС усложнена тем, что тепловое воздействие и получение измерительной 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 процесс теплопереноса 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) [1].

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 [2].

Измерительная схема метода НК представлена на рис. 1.

Тела 1 и 2 характеризуются различными теплофизическими свойствами (λ_1 , a_1 и λ_2 , a_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. 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.

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. ТГТУ Н.Ф. Майниковой.

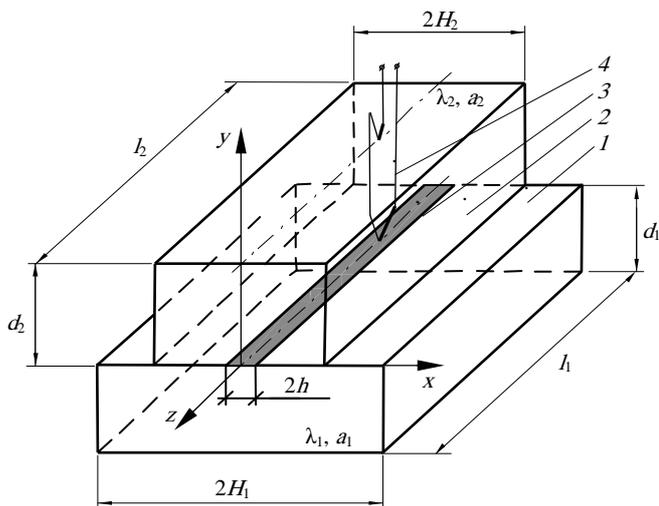


Рис. 1. Измерительная схема метода с линейным источником тепла:

1 – изделие; 2 – измерительный зонд (ИЗ);
3 – нагреватель; 4 – термодатчик (ТД)

Перед тепловым воздействием измеряют разность температур 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 осуществляют, подавая на нагреватель электрический ток. Мощность нагревателя – q . В ходе эксперимента, фиксируется термограмма – зависимость разности температур (T) в точках контроля от времени (τ).

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

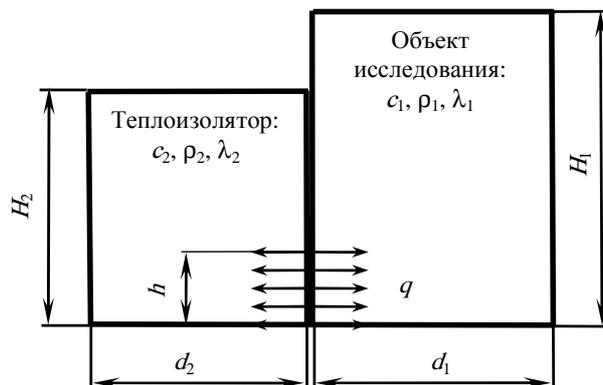


Рис. 2. Тепловая схема

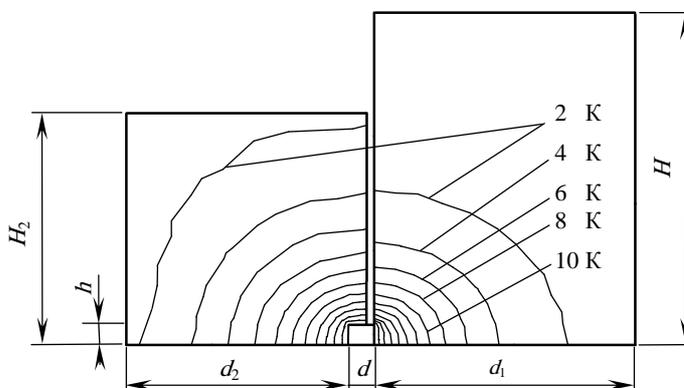


Рис. 3. Распределение температуры от плоского нагревателя постоянной мощности в системе двух полуограниченных тел

Теплофизические свойства полуограниченных тел соответствовали теплофизическим свойствам полиэтилена высокой плотности марки П4020-Э ($\lambda_1 = 0,5$ Вт/(м·К); $c_1 = 2400$ Дж/(кг·К); $\rho_1 = 938$ кг/м³) и рипора ($\lambda_2 = 0,028$ Вт/(м·К); $c_2 = 1270$ Дж/(кг·К); $\rho_2 = 50$ кг/м³), используемого в качестве теплоизолятора.

На рисунке 3 показано распределение температуры от плоского нагревателя постоянной мощности в системе двух полуограниченных тел (исследуемое изделие-зонд) при идеальном тепловом контакте между ними при следующих условиях: $\tau_k = 60$ с; $q = 3000$ Вт/м²; $\Delta\tau = 0,5$ с; шаг изотерм = 2 К [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лыков, А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М. : Высш. шк., 1967. – 599 с.
2. Жуков, Н.П. Многомодельные методы и средства неразрушающего контроля теплофизических свойств твердых материалов и изделий : монография / Н.П. Жуков, Н.Ф. Майникова. – М. : Машиностроение-1, 2004. – 288 с.
3. ELCUT: моделирование двухмерных полей методом конечных элементов. Версия 5.5. Руководство пользователя. – СПб. : Производственный кооператив ТОР, 2003. – 249 с.