

*Д.И. Петров, А.А. Каратеев, Е.В. Пудовкина**

МЕТОД НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДВУХСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Многослойные материалы применяются для изготовления деталей и оборудования предприятий химической, нефтяной, сельскохозяйственной, транспортной, энергетической и других отраслей промышленности. К потребителям таких материалов относятся также приборостроение, радиоэлектроника и др. Например, одна из областей применения многослойных материалов – это металлические и комбинированные слоистые конструкции в производстве подшипников скольжения.

При разработке, испытании и эксплуатации изделий из многослойных материалов необходимо иметь информацию о теплофизических свойствах как отдельных слоев, так и всей конструкции в целом, так как эти свойства определяют надежность, работоспособность, а в итоге и качество готовых объектов техники.

Среди методов и средств контроля особое место занимают контактные тепловые неразрушающие методы определения теплофизических свойств (ТФС) материалов и изделий. При этом реализация контактного метода неразрушающего контроля (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 [1].

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.

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора ФГБОУ ВПО «ГГТУ» Н.Ф. Майниковой.

Наиболее точно систематические и случайные составляющие погрешности могут быть учтены в методах контроля ТФС, основанных на регулярном тепловом режиме. Лыковым А.В. 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.

Таким образом, проблема разработки нового метода НК, позволяющего определить ТФС многослойных материалов как на стадии технологического контроля в процессе их производства, так и в процессе эксплуатации изделий из них, является важной и актуальной.

В данной работе представлено имитационное исследование метода НК ТФС.

Метод основан на физической модели, согласно которой тепловое воздействие на исследуемое тело с равномерным начальным температурным распределением осуществляется с помощью нагревателя постоянной мощности, выполненного в виде тонкого диска радиусом R , встроенного в подложку измерительного зонда. Подложка измерительного зонда изготовлена из теплоизолятора рипора с ТФС: температуропроводностью a_3 , теплопроводностью λ_3 , теплоемкостью c_3 , плотностью ρ_3 . Исследуемое тело представляет собой конструкцию, состоящую из двух слоев: первый – низкотеплопроводный с ТФС: температуропроводностью a_1 , теплопроводностью λ_1 , теплоемкостью c_1 , плотностью ρ_1 ; второй – высокотеплопроводный с ТФС: температуропроводностью a_2 , теплопроводностью λ_2 , теплоемкостью c_2 , плотностью ρ_2 .

Размеры по длине и ширине исследуемого двухслойного металлополимерного тела: L_1 и L_2 . Толщина первого слоя – h_1 , второго – h_2 .

Для исследования метода воспользуемся численным моделированием температурных полей методом конечных элементов с помощью пакета программ Elcut Student.

Выстраиваем геометрию задачи, исходя из натуральных размеров двухслойного изделия и измерительного зонда, выбираем единицу длины сетки и систему координат. Следует отметить, что модель задается симметричной относительно горизонтальной оси симметрии.

Задаем: теплофизические свойства, параметры начальных и граничных условий, строим сетку конечных элементов.

После решения задачи выводим распределение температуры по толщине объекта для момента времени 300 секунд (рис. 1).

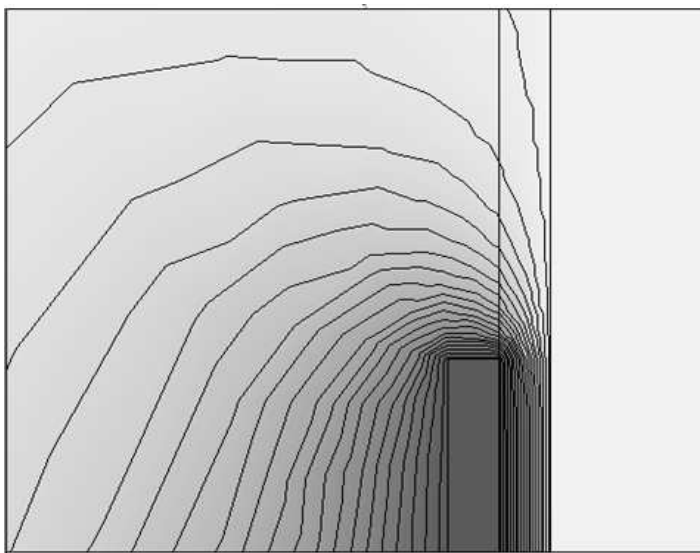


Рис. 1. Распределение температуры по толщине двухслойного объекта

Выводим график распределения температуры по времени: в центре нагревателя; в центре слоя теплоизоляционного покрытия; на границе раздела теплоизоляции и металла (рис. 2).

Данные численного исследования свидетельствуют о реализации одномерного температурного поля по толщине теплоизоляционного покрытия в локальной зоне, расположенной вблизи нагревателя.

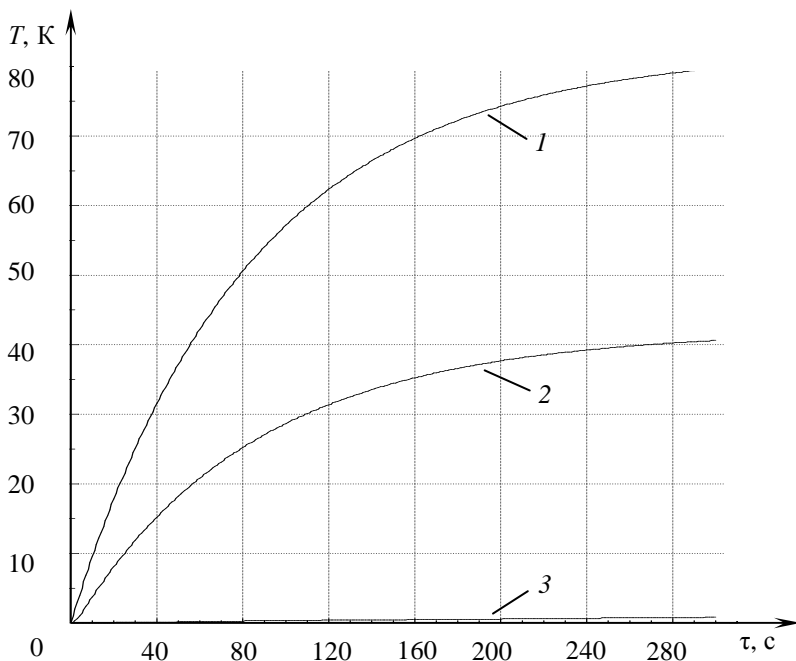


Рис. 2. Термограммы точек контроля: в центре нагревателя на границе раздела подложка зонда – теплоизоляционное покрытие (1); в середине слоя покрытия (2); на границе раздела покрытие – металл (3)

На рисунке 2 представлены термограммы, соответствующие распределению температуры в следующих точках контроля: в центре нагревателя на границе раздела подложка зонда – теплоизоляционное покрытие (1); в середине слоя покрытия (2); на границе раздела покрытие – металл (3).

Таким образом, численное исследование позволяет подобрать необходимые режимные параметры нагрева с целью реализации требуемых температурных характеристик на границах раздела.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лыков, А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М. : Высшая школа, 1967. – 599 с.

Кафедра «Гидравлика и теплотехника» ФГБОУ ВПО «ТГТУ»