

*Е. В. Комбарова, Д. А. Комбаров**

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПОЛИМЕРНО-МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Цель данной работы – численное исследование теплового метода неразрушающего контроля (НК) качества двухслойных полимерно-металлических изделий. Исследуется стальное изделие в виде пластины с полимерным покрытием из поливинилхлорида (ПВХ). Изделие представляет собой конструкцию, состоящую из двух слоев с теплофизическими свойствами (теплопроводность, температуропроводность, теплоемкость, плотность): первый – $\lambda_1, a_1, c_1, \rho_1$; второй – $\lambda_2, a_2, c_2, \rho_2$. Толщины слоев: покрытие – h_1 , стальная пластина – h_2 .

Тепловое воздействие на изделие осуществляется с помощью нагревателя постоянной мощности, выполненного в виде диска, встроенного в подложку измерительного зонда (ИЗ). Зонд помещают на поверхность покрытия из поливинилхлорида. Подложка ИЗ выполнена из теплоизолятора – рипора. Размеры подложки ИЗ: высота – 20 мм; радиус – 25 мм. Толщина покрытия – 1 мм, толщина металлической пластины – 10 мм. Нагреватель из меди имеет радиус 10 мм, высоту 1 мм.

Размеры подложки ИЗ и металлической пластины подобраны так, что их можно считать полуограниченными.

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

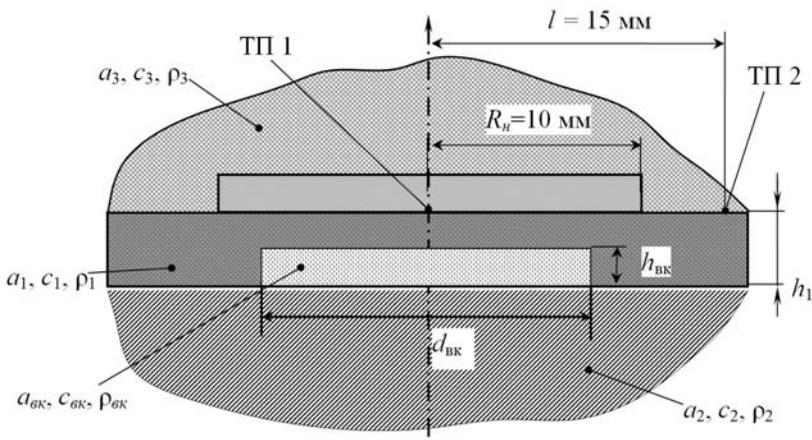


Рис. 1. Схема моделирования включений в двухслойном изделии при неразрушающем контроле

Температура в точках контроля поверхности покрытия измеряется с помощью термоприемников (ТП 1 и ТП 2). Регистрируют термограммы – зависимости температуры от времени (рис. 2).

В основе метода НК лежат предположения, что на термограммах имеются участки (рабочие), для которых обеспечивается высокая точность совпадения с результатами вычислительных экспериментов по аналитическим моделям. Причем этим участкам соответствуют тепловые режимы опыта, вышедшие на стадию регуляризации. Полученное ранее решение краевой задачи нестационарной теплопроводности в системе двух тел, нагреваемых через бесконечный плоский нагреватель тепловым потоком постоянной мощности, в форме, пригодной для использования на рабочем участке термограммы, может быть использовано для получения математических выражений для расчета ТФС, толщины покрытий или выявления наличия посторонних включений [1, 2].

Моделирование температурных полей с целью контроля наличия дефектов покрытия в виде металлического включения на границе раздела «покрытие–металлическая пластина» выполнено методом конечных элементов с помощью пакета программ Elcut Student.

ТФС материалов представлены в таблице.

Составлены описание задачи, ее геометрия, источники тепла, граничные и другие условия. Численное исследование температурных полей в методе неразрушающего контроля двухслойных полимерно-

Таблица. Теплофизические свойства материалов

Метка блока	Теплопроводность λ , Вт/(К·м)	Теплоемкость c , Дж/(кг·К)	Плотность ρ , кг/м ³
Покрытие (поливинилхлорид)	0,12	1260	125
Нагреватель (медь)	400	385	8890
Подложка зонда (рипор)	0,028	1270	50
Пластина (Сталь 40)	47	462	7800

металлических изделий позволит выявить наличие стадии регуляризации теплового процесса и возможность применения одномерной математической модели распространения тепла в плоском полупространстве.

Для упрощения схемы и расчетов пренебрегаем теплоемкостью нагревателя и оттоками тепла по проводам теплоприемников. Принимаем, что все элементы схемы находятся в идеальном тепловом контакте друг с другом. Боковые поверхности тел имеют тепловую изоляцию.

Численно определяем температуру в точках, расположенных на оси нагревателя: на границе раздела «подложка ИЗ–покрытие»; в середине слоя покрытия; на границе раздела «покрытие–металл». Полученные результаты позволили сделать вывод о наличии кратковременного одномерного распространения тепла по толщине покрытия и реализации режима регуляризации теплового процесса для локальной области. Появляется возможность выделить на термограммах рабочие участки, характеризующиеся независимостью от времени отношения теплового потока в любой точке покрытия к потоку тепла на его поверхности. Появляется возможность использовать для расчета ТФС или толщины покрытия решение [2], полученное ранее.

На рисунке 2 представлены термограммы, полученные численно для термоприемника ТП 2, с целью выявления возможности контроля дефектов в двухслойных полимерно-металлических изделиях.

Исследовали дефекты в виде металлического включения на границе раздела «покрытие из поливинилхлорида–металлическая пластина».

Данные, представленные на рис. 2, регистрируемые термоприемником ТП 2 (рис. 1), расположенным на расстоянии 15 мм от центра нагревателя в плоскости контакта подложки ИЗ с поверхностью полимерного покрытия, позволяют выявить наличие дефекта в виде частицы

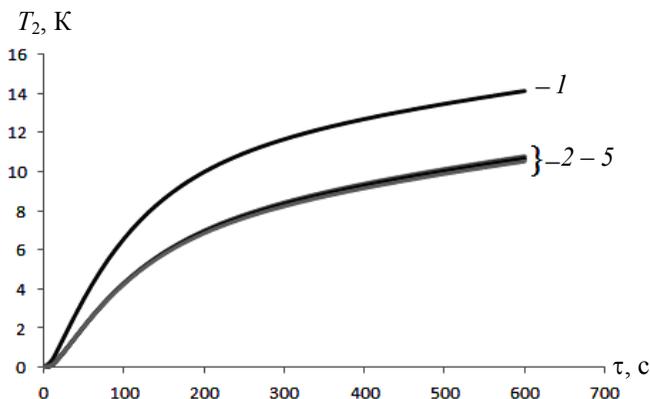


Рис. 2. Термограммы: $T_2 = f(\tau)$:

1 – модель без дефекта; *2–5* – с дефектом в виде металлического включения диаметром $d_{\text{вк}} = 5$ мм и толщиной $h_{\text{вк}} = 0,1; 0,25; 0,5; 0,75$ мм

металла диаметром 5 мм и толщиной 0,1...0,75 мм. Так как термограммы 2 – 5 на рис. 2 практически совпали, то определить толщину металлического включения данного размера в исследуемом двухслойном объекте разрабатываемым тепловым способом при заданных условиях испытаний не представляется возможным.

Следует отметить, что на рис. 2 представлены результаты исследования на момент времени 700 с. Однако данные, представленные на рис. 2, позволяют сделать вывод о том, что одной–двух минут нагрева вполне достаточно для выявления дефектов покрытия в виде металлических включений данных размеров. Различия между кривой *1* и графиками зависимостей *2 – 5*, представленными на рис. 2, на моменты времени 60...120 с существенны.

Список литературы

1. Жуков, Н. П. Измерительно-вычислительная система неразрушающего теплофизического контроля / Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова // Приборы и техника эксперимента. – 2005. – № 2. – С. 153–154.
2. Теоретическое обоснование теплового метода неразрушающего контроля двухслойных изделий / И. В. Рогов, Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова, Н. В. Лунова // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2009. – № 9(23). – С. 93 – 99.

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