

*А. А. Фомин, О. Н. Попов**

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО
ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ ПЕРЕХОДОВ
В ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛАХ**

Все усложняющиеся задачи по повышению качества промышленной продукции, надежности объектов требуют дальнейшего совершенствования методов, средств контроля и диагностики состояний изделий из полимерных материалов (ПМ). Широкое применение ПМ обусловлено разнообразием их свойств, которые можно изменять, используя новые технологии. Гибкость молекул полимеров обеспечивает наличие ряда агрегатных и фазовых состояний, богатство морфологических структур кристаллических образований, различные физические и релаксационные состояния аморфного полимера. Введение пластификаторов, наполнителей в полимерные материалы влияет на все типы состояний и переходов в готовых изделиях при эксплуатации. Изучение суперпозиций состояний и переходов ПМ необходимо для назначения технологических режимов их переработки в изделия и последующей эксплуатации.

Применяющиеся для изучения ПМ рентгеновские методы, дифференциальный термический анализ, дифференциальная сканирующая калориметрия и другие требуют изготовления специальных образцов,

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

длительного времени испытания, использования дорогостоящего оборудования.

Среди существующих методов термического анализа известен метод неразрушающего определения значений температуры структурных переходов в ПМ с использованием круглого плоского нагревателя постоянной мощности, встроенного в подложку измерительного зонда [1, 2].

Следует отметить, что при распространении тепла от линейного источника постоянной мощности в цилиндрическом полупространстве нет ограничений по времени нагрева, квазистационарная стадия не реализуется, скорость нагрева, при прочих равных условиях выше. Так как эффективность метода неразрушающего контроля структурных переходов в ПМ зависит от скорости движения границы структурного перехода, а температурный градиент при реализации метода с распространением тепла в цилиндрическом полупространстве меньше, то применение линейного нагревателя постоянной мощности – перспективно.

В данной работе рассматривается тепловой метод неразрушающего определения температурных характеристик структурных переходов (твердофазных, релаксационных) в ПМ, сопровождающихся тепловыми эффектами [1].

Согласно измерительной схеме, представленной на рис. 1 и 3, тепловое воздействие на исследуемое полимерное тело, имеющее равномерное начальное температурное распределение, осуществляется с помощью двух линейных нагревателей постоянной мощности, встроенных в подложку измерительного зонда.

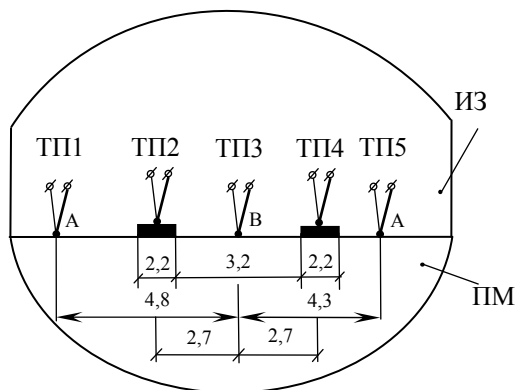


Рис. 1. Схема расположения нагревателей и термоэлектрических преобразователей

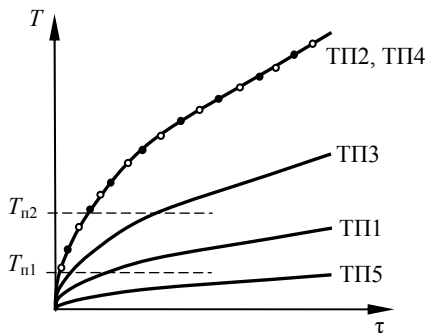


Рис. 2. Термограммы

Начальное температурное распределение контролируется одновременно пятью термоэлектрическими преобразователями (ТП), расположенными на поверхности подложки измерительного зонда. Нагреватели, выполненные в виде полос шириной $h = 2,2$ мм, расположены на расстояниях 2,75 мм по обе стороны от центральной оси измерительного зонда. Один термоприемник расположен на линии центральной оси зонда, остальные термоприемники находятся по обе стороны от нее на расстояниях 2,7 и 4,8 мм.

Известно, что при распространении тепла от линейного нагревателя постоянной мощности, на термограммах, зафиксированных на некотором расстоянии от нагревателя, можно выделить рабочие участки соответствующие распространению тепла в цилиндрическом полупространстве при регуляризации тепловых потоков. Через некоторое время τ в точке контроля, соответствующей ТП3, наложение температурных полей от Н1 и Н2 позволит реализовать определение ТФС и их аномалий по модели (рис. 2).

Возможна регистрация первой производной по времени от температуры, выражающей скорость (I) изменения этой величины на кривых температурных зависимостей от времени, что позволяет осуществлять неразрушающий контроль значений температуры структурных переходов в полимерных материалах без дополнительной калибровки измерительной системы.

В результате проведенного численного моделирования процесса теплопереноса методом конечных элементов в соответствии с измерительной схемой (рис. 3) получены термограммы в заданных точках контроля (рис. 4). Моделирование проводилось при следующих условиях: подложка измерительного зонда выполнена из пенополиуретана марки «Рипор» ($\lambda = 0,028$ Вт/(м·К), $c = 1050$ Вт/(м·К), $\rho = 50$ кг/м³);

объект исследования – полиамид блочный ПА – 6 ($\lambda = 0,3$ Вт/(м·К), $c = 1750$ Вт/(м·К), $\rho = 1550$ кг/м³). Режимные характеристики: тепловая мощность на нагревателе задавалась в интервале от 4,2 до 7,5 Вт; частота дискретизации $\Delta t = 0,5$ с. Структурный переход в ПА – 6, сопровождающийся эндотермическим тепловым эффектом, моделировался скачком теплоемкости в интервале от 27,5 до 29,5 °С.

На рисунке 4 представлены термограммы, полученные в точке контроля, расположенной на линии центральной оси измерительного зонда, при различных значениях теплового потока: 1) $q_1 = 5000$ Вт/м²; 2) $q_2 = 6000$ Вт/м²; 3) $q_3 = 7000$ Вт/м²; 4) $q_4 = 8000$ Вт/м²; 5) $q_5 = 9000$ Вт/м².

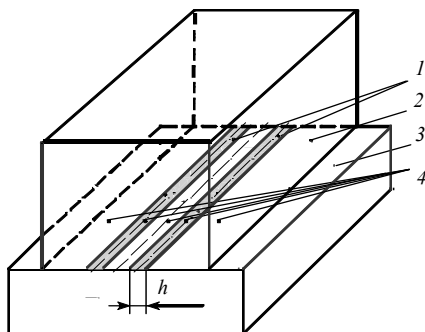


Рис. 3. Измерительная схема:

1 – нагреватель; 2 – подложка измерительного зонда;
3 – исследуемое тело; 4 – термоприемники

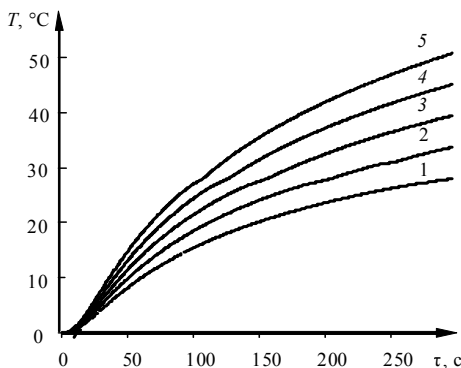
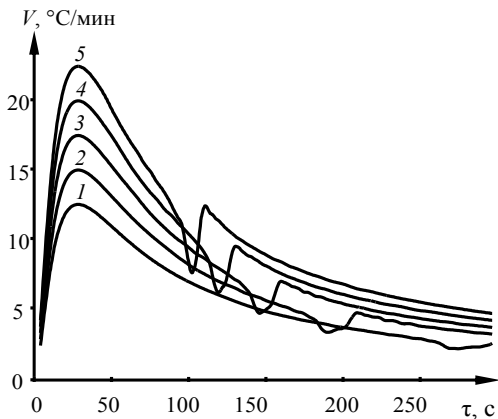
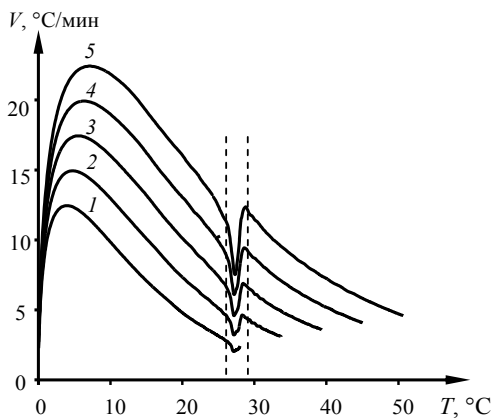


Рис. 4. Термограммы, полученные на линии центральной оси измерительного зонда при различных значениях теплового потока:

1 – $q_1 = 5000$ Вт/м²; 2 – $q_2 = 6000$ Вт/м²; 3 – $q_3 = 7000$ Вт/м²;
4 – $q_4 = 8000$ Вт/м²; 5 – $q_5 = 9000$ Вт/м²



a)



б)

Рис. 5. Зависимости:

a) $V = f(\tau)$; б) $V = f(T)$; 1 - $q_1 = 5000 \text{ Вт/м}^2$; 2 - $q_2 = 6000 \text{ Вт/м}^2$;
3 - $q_3 = 7000 \text{ Вт/м}^2$; 4 - $q_4 = 8000 \text{ Вт/м}^2$; 5 - $q_5 = 9000 \text{ Вт/м}^2$

На рисунке 5 представлены зависимости скоростей нагрева исследуемых точек поверхности изделия от времени (рис. 5, а) и от температуры (рис. 5, б). Из представленных данных видно, что твердофазное превращение в ПА-6, сопровождающееся поглощением тепла, проявилось на зависимостях $V = f(\tau)$; $V = f(T)$ в узком интервале значений температуры от 27,5 до 29,5 °С.

Список литературы

1. *Об одном методе* исследования твердофазных переходов в полимерах / Н. Ф. Майникова, Ю. Л. Муромцев, Н. П. Жуков, А. А. Балашов // Пластические массы. – 2002. – № 6. – С. 23 – 26.

2. *Измерительная система* и метод неразрушающего контроля структурных превращений в полимерных материалах / Н. Ф. Майникова // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2006. – № 1. – С. 56 – 61.

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