

## НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ТВЕРДОФАЗНЫХ ПЕРЕВРАЩЕНИЙ В ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Разработка и применение полимерных материалов, как материалов с разнообразными и необычными механическими и другими свойствами, невозможны без глубокого изучения суперпозиций состояний и переходов.

Применявшиеся до настоящего времени для изучения и контроля состояния полимеров спектроскопические, рентгеновские, традиционные релаксационные методы, дифференциальный термический анализ, дифференциальная сканирующая калориметрия и других, безусловно, позволили продвинуться вперед в изучении физики полимеров. Однако, создание новых неразрушающих методов, дающих возможность оперативно фиксировать температурно-временные параметры структурных превращений в полимерах, является актуальной задачей.

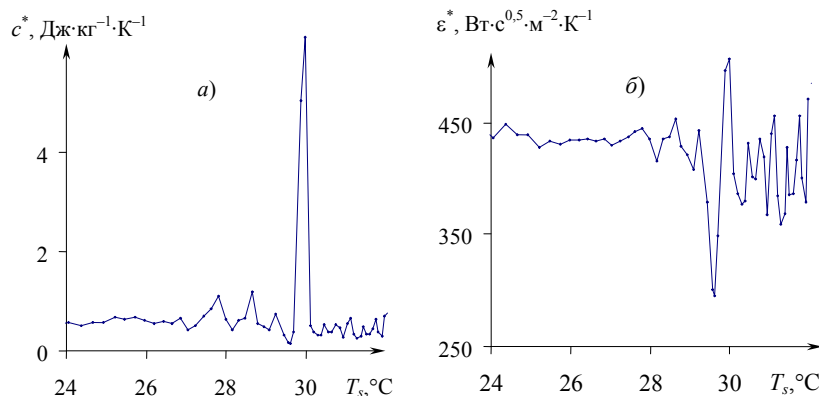
Теоретические основы разработанного авторами метода неразрушающего контроля (НК) температурно-временных характеристик полиморфных твердофазных превращений в полимерных материалах приведены в работах [1 – 3].

Фиксирование структурных превращений в полимерных материалах осуществляется по аномальным изменениям текущих эффективных значений теплофизических характеристик ( $\varepsilon^*$  – тепловой активности,  $\lambda^*$  – теплопроводности,  $c^*$  – теплоемкости) в области структурных переходов, а так же по ряду параметров аналитических моделей, определяемых по экспериментальным термограммам, но уже без дополнительных калибровочных экспериментов.

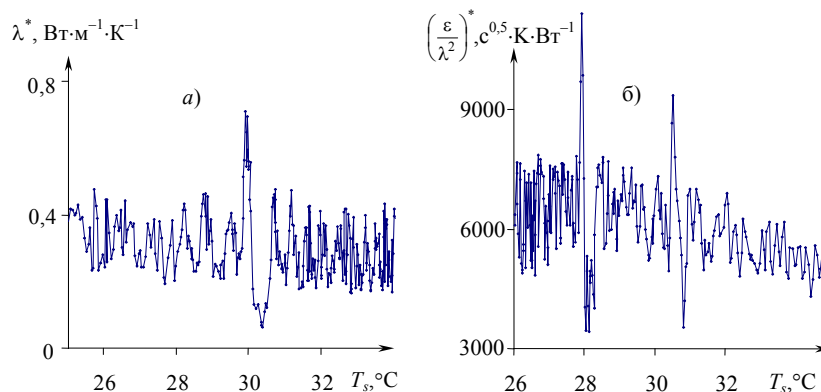
Измерительно-вычислительная система (ИВС), реализующая метод, включает в себя сменные измерительные зонды, блок усилителей, микропроцессорное измерительно-вычислительное устройство, персональный компьютер (ПК) и периферийные устройства. Составные части ИВС объединены между собой системным программно-аппаратным интерфейсом. Функционирование ИВС возможно как в производственных (без ПК), так и лабораторных условиях [1].

Примеры реализации метода представлены на рис. 1, 2.

Исследовали твердофазные полиморфные превращения в политетрафторэтилене (ПТФЭ, ГОСТ 10007–80) и коксонаполненном политетрафторэтилене – Ф4К20.



**Рис. 1** Зависимости:  
 $a - c^* = f(T_s)$ ;  $b - \varepsilon^* = f(T_s)$  для Ф4К20



**Рис. 2** Зависимости:  
 $a - \lambda^* = f(T_s)$ ;  $b - (\varepsilon/\lambda^2)^* = f(T_s)$  для ПТФЭ.

Условия опытов:  $a - T_n = 13,8 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $R = 4 \text{ мм}$ ;  $W = 0,9 \text{ Вт}$ ;  $\Delta\tau = 0,5 \text{ с}$ ;  $k = 9$ ;  
 $b - T_n = 19,4 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $R = 4 \text{ мм}$ ;  $W = 1,0 \text{ Вт}$ ;  $\Delta\tau = 0,5 \text{ с}$ ;  $k = 11$

На рис. 1 представлены зависимости  $c^* = f(T_s)$  и  $\varepsilon^* = f(T_s)$  для Ф4К20, построенные по термограмме, снятой в центре зонда при следующих условиях: начальная температура опыта  $T_n = 18,3 \text{ }^\circ\text{C}$ ; радиус нагревателя  $R = 2,5 \text{ мм}$ ; мощность на

нагревателе  $W = 0,6$  Вт; шаг измерения температуры  $\Delta\tau = 0,5$  с;  $T_s$  – средняя температура изделия из  $k$  текущих измерений,  $k = 5$ . Обработка результатов проведена по модели сферического полупространства на стадии нагрева [3].

На рис. 2 представлены зависимости  $\lambda^* = f(T_s)$  и  $(\varepsilon/\lambda^2)^* = f(T_s)$  для ПТФЭ, построенные по термограммам, снятым в центре зонда. Обработка результатов проведена по модели сферического полупространства на стадиях нагрева (а) и остывания (б).

Полиморфные твердофазные переходы в коксонаполненном политетрафторэтилене (рис. 1) и в ПТФЭ (рис. 2) при 30 °С явно зафиксированы. На рис. 2, б полиморфное твердофазное превращение в ПТФЭ при 30 °С проявилось в виде дублета, что объясняется способностью полимерных кристаллов к реорганизации и рекристаллизации.

В целом процессы реорганизации и рекристаллизации идут интенсивнее в случае небольших малостабильных кристаллов и малых значений скоростей нагрева. В большинстве случаев процессы реорганизации и рекристаллизации кристаллов, которые могут идти и одновременно, приводят к появлению сложных дублетных или триплетных зависимостей. При этом форма последних зависит от кинетики процессов: температуры пиков могут смещаться с изменением скорости нагрева. При малых скоростях нагревания может наблюдаться минимум между пиками.

Представленные экспериментальные данные показывают работоспособность и оперативность разработанного метода НК температурно-временных характеристик полиморфных твердофазных превращений в полимерах и композиционных материалах на их основе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Жуков Н.П., Майникова Н.Ф., Муромцев Ю.Л., Чех А.С. Многомодельный метод неразрушающего теплофизического контроля структурных превращений в полимерных материалах // Вестник ТГТУ. Т. 9, № 2. 2003. Рубрика 01. Препринт № 7. 36 с.

2 Майникова Н.Ф., Никулин С.С., Чех А.С. Распределение температурного поля в полуограниченном теле от источника тепла постоянной мощности // Труды III Российской национальной конф. по теплообмену: В 8 т. Т. 7. С. 181 – 183.

3 Свидетельство № 2003611204 об официальной регистрации программы для ЭВМ. Регистрация структурных превращений в полимерных материалах по изменениям теплофизических характеристик (Регистрация аномалий ТФХ) / Н.П. Жуков, Н.Ф. Майникова, Ю.Л. Муромцев, А.С. Чех. Заявлено 31.03.03, зарегистрировано 23.05.03.

*Кафедра «Гидравлика и теплотехника»*