

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПЕРЕХОДОВ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОПЛАСТОВ

Одним из эффективных и высокопроизводительных способов получения изделий для машиностроения, химической, электро- и радиотехнической промышленности является формование термопластов в твердой фазе [1]. Однако для выбора температурных режимов переработки термопластов в твердой фазе необходимо знать их релаксационные свойства, в первую очередь температурные переходы в диапазоне от комнатной до температуры стеклования T_c аморфных и температуры плавления $T_{пл}$ кристаллических термопластов.

Наиболее часто эти температурные переходы регистрируются методами линейной дилатометрии, механических и диэлектрических потерь [1], акустическими [2] и теплофизическими [3] методами, которые, как правило, реализуются в лабораторных условиях с использованием полимерных образцов определенных размеров и формы.

Температурные переходы хорошо проявляются на температурных зависимостях коэффициентов теплопроводности λ и температуропроводности a термопластов [3].

Разработан метод определения температурных переходов и теплофизических свойств (ТФС) термопластов, сущность которого заключается в следующем.

На поверхности заготовки из термопласта, предназначенной для твердофазного формования, помещают линейный источник тепла и на линии его действия, а также на заданных расстояниях по обе стороны от него первичные измерительные преобразователи (термобатареи из полупроводниковых терморезистов). Расстояния между термобатареями, расположенными параллельно линии действия источника тепла, задаются равными 1 мм. Количество термобатарей, выполненных по планарной технологии на подложке из ситала, должно быть не менее 8...10 шт. по обе стороны от нагревателя. Линейный нагреватель, в виде тонкой полосы шириной 0,1 мм из материала с высоким удельным сопротивлением, размещен также на поверхности ситаловой подложки и подключен к импульсному источнику напряжения, а термобатареи – к коммутатору.

Выход коммутатора подключен к измерительной схеме (мост постоянного тока), который, в свою очередь, через устройство ввода-вывода соединен с микропроцессором. Управление работой импульсного источника тепла осуществляется микропроцессором через устройство ввода-вывода и результаты эксперимента могут быть вызваны оператором в любое время на индикатор микропроцессора. Ситаловая подложка теплоизолирована от окружающей среды подложкой из рипора, закрепленной на контактной поверхности измерительного зонда.

Вначале исследования осуществляется тепловое воздействие от источника тепла одним тепловым импульсом и одновременно определяется интервал времени τ_0 от момента нанесения теплового импульса до момента, когда контролируемая избыточная температура на линии действия источника станет равной первоначальной температуре или на 2...3 % выше ее первоначального значения. Затем в микропроцессоре определяют минимальную частоту следования тепловых импульсов по соотношению $F_{\min} = 1/\tau_0$ и осуществляют тепловое воздействие от источника, увеличивая частоту подачи импульсов в соответствии с законом

$$F_{\text{имп}} = F_{\min} + K_1 \Delta T_i + \frac{1}{K_2} \int_{\tau_{i-1}}^{\tau_i} \Delta T(\tau) d\tau + K_3 \left. \frac{d[\Delta T(\tau)]}{d\tau} \right|_{\tau=\tau_i}, \quad (1)$$

где $\Delta T(\tau) = T_{\text{зад } i} - T(\tau)$ – разность между наперед заданным значением $T_{\text{зад } i}$ и текущим значением контролируемой температуры; $\Delta T_i = T_{\text{зад } i} - T(\tau_i)$ – разность между заданной и текущей температурой в моменты времени, определяемые соотношением $\tau_i = K_4 \sum_{k=1}^{i-1} \Delta T_k + \tau_{\min}$, где $K_1...K_4$ – коэффициенты пропорциональности, значения которых определяются экспериментально на эталонных изделиях, либо задаваемые соответственно в диапазоне $K_1 = 1...10$; $K_2 = 1...100$; $K_3 = 1...50$; $K_4 = 0,1...1$; τ_{\min} – минимальный интервал времени определения разности ΔT_i (задается от 1 до 3 с).

Значения $T_{\text{зад } i}$ устанавливаются таким образом, чтобы скорость нагрева исследуемого образца была не выше 1 °С в минуту, что обеспечивает более полное протекание релаксационных процессов в структуре термопласта и более точное определение температурных переходов. Увеличение частоты следования тепловых импульсов $F_{\text{имп}}$ в начальной стадии нагрева в соответствии с заданным законом (1) осуществляется до тех пор, пока не будет выполняться условие $\Delta T_i = T_{\text{зад } i} - T(\tau_i) \leq \varepsilon$, где $\varepsilon \leq 0,01$ °С.

Затем коммутатор по команде с процессора подключает к измерительной схеме поочередно термобатареи, расположенные по обе стороны от нагревателя, начиная с ближайших от него, т.е. $x = 1$ мм. Из теплофизики известно [4, 5], что при монотонном подводе теплоты к исследуемому образцу за начальной стадией следует наступление упорядоченного (регулярного) теплового режима, характеризующегося постоянством во времени скорости изменения логарифма избыточной температуры.

* Работа выполнена под руководством доц. каф. ТММ и ДМ Ю.М. Радько.

При достижении температур релаксационных переходов у термопластов происходит изменение их теплофизических характеристик, в частности, коэффициента температуропроводности. Поскольку в соответствии с первой теоремой Г.М. Кондратьева [2] темп нагрева прямо пропорционален коэффициенту температуропроводности,

$$m = \frac{a}{R^2} K_n,$$

где K_n – критерий Кондратьева; R – обобщенный геометрический параметр, то температурным переходам соответствует скачкообразное изменение термограммы и темпа нагрева, что фиксируется в микропроцессоре. Таким образом, при нагреве исследуемой заготовки, температурные переходы обнаруживаются в точках контроля по мере удаления их от источника тепла. Эти температуры фиксируются и усредняются в микропроцессоре, что обеспечивает уменьшение случайной составляющей общей погрешности измерения и повышение достоверности определения искомых величин.

Для увеличения чувствительности определения температурных переходов по известным соотношениям для такого частотно-импульсного теплового воздействия [6] исследуют ТФС до изменения темпа нагрева и после. В этом случае, как показали расчеты, чувствительность обнаружения искомых изгибов термограммы увеличивается не менее, чем в 5 – 7 раз, так как изменение температуры на 1 % дает изменение температуропроводности a не менее, чем на 7...10 %.

Эксперименты на образцах из полиметилметакрилата («органическое стекло») показали наличие температурных переходов в области 20, 80 и 100 °С, что хорошо коррелирует с данными работы [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Баронин Г.С., Кербер М.Л., Минкин Е.В., Радько Ю.М. Переработка полимеров в твердой фазе (физико-химические основы). М.: Машиностроение-1, 2002.
- 2 Перепечко И.И. Акустические методы исследования полимеров. М.: Химия, 1973. 296 с.
- 3 Годовский Ю.К. Теплофизические методы исследования полимеров. М.: Химия, 1976. 216 с.
- 4 Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967. 599 с.
- 5 Кондратьев Г.М. Регулярный тепловой режим. М.: Гостехиздат, 1954. 408 с.
- 6 Чернышова Т.И., Чернышов В.Н. Методы и средства неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов. М.: Машиностроение-1, 2001. 242 с.

Кафедра «Теория механизмов машин и деталей машин»