

О. И. Карпович, ст. преподаватель

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ВЯЗКОУПРУГИХ СВОЙСТВ ВТОРИЧНЫХ ТЕРМОПЛАСТОВ И СМЕСЕЙ НА ИХ ОСНОВЕ

The temperature dependence of viscoelastic parameters for some secondary used thermoplastic materials and their mixtures from industrial enterprises of the Republic of Belarus have been investigated. The thermal coefficients of linear expansion for these materials have been received. According to the results of the experiments the deformation in a period of time has been estimated. The results of the researches can be used for cooling conditions calculations for processes of hybrid structure forming from composite materials based on the mixtures of polymers.

Введение. Проблема утилизации отходов производства изделий из термопластов, в том числе из смесевых композиций, актуальна для многих предприятий Республики Беларусь. Одно из ресурсосберегающих и экологически обоснованных направлений – вторичная переработка таких отходов. Перспективным методом переработки данных отходов является изготовление на их основе изделий с гибридной структурой методами пласт-формования и экструзии [1, 2]. При изготовлении таких изделий неоднородная структура и различающиеся вследствие этого температурные коэффициенты линейного расширения (ТКЛР) материала в разных частях изделия, а также неоднородное поле температуры при охлаждении изделия служат причиной усадочных (термоструктурных) деформаций и напряжений. Указанные деформации и напряжения влияют на форму и геометрию получаемых изделий. Их величина напрямую зависит от параметров процесса формообразования, в частности от режимов охлаждения. Полимерные материалы имеют вязкоупругую природу. Следовательно, для оценки усадочных деформаций и напряжений необходимы значения показателей вязкоупругих свойств и усадки матричного полимера как функции температуры.

Целью данной работы является определение температурных зависимостей вязкоупругих свойств некоторых вторичных термопластов и смесей на их основе, которые образуются на предприятиях Республики Беларусь.

Основная часть. Заключительная стадия процесса формообразования изделий из термопластичных композиционных материалов – охлаждение, сопровождающееся изменением от температуры формообразования до комнатной. В процессе охлаждения на изделие действуют усилия, приводящие к деформациям различных его элементов. Дифференциальное уравнение, которое задает процесс деформирования образца при изменяющейся температуре и переменных (зависящих от температуры) параметрах вязкоупругости, имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \sigma - E(t)\varepsilon(t) - H(t)\tau(t)\dot{\varepsilon}(t) = \\ = E(t)\varepsilon_T(t) + H(t)\tau(t)\dot{\varepsilon}_T, \end{aligned} \quad (1)$$

где σ – напряжение от заданной нагрузки; $\varepsilon(t)$ – полная деформация, определяемая по формуле: $\varepsilon(t) = \varepsilon_F(t) - \varepsilon_T(t)$; $\varepsilon_F(t)$ – деформация от нагрузки; $\varepsilon_T(t)$ – термоструктурная (усадочная) деформация; E , H и τ – длительный, мгновенный модули и время релаксации как функции времени (зависящие от температуры $T(t)$); точка означает производную по времени.

Линейное дифференциальное уравнение (1) с переменными коэффициентами представили в виде

$$\dot{\varepsilon}(t) + A(t)\varepsilon(t) = B(t),$$

где

$$A(t) = \frac{E(t)}{H(t)\tau(t)},$$

$$B(t) = \frac{\sigma - a_T E(t)(T(t) - T_0) - a_T H(t)\tau(t)\dot{T}(t)}{\tau(t)H(t)},$$

где a_T – температурный коэффициент линейного расширения; T_0 – температура окружающей среды.

Если известны параметры этого уравнения как функции времени, то в результате его интегрирования вычисляются деформации $\varepsilon(t)$. Решение уравнения примет вид

$$\varepsilon(t) = e^{-\int A(t)dt} \left[\int B(t)e^{\int A(t)dt} dt + C \right]. \quad (2)$$

Постоянная интегрирования C находится из начальных условий.

Температурные зависимости параметров вязкоупругости, необходимые для решения уравнения (2), определяли для следующих материалов:

1) вторичный АБС марки 2020-32-903. Отходы данного материала образуются на РУП «Осиповический завод автомобильных агрегатов» (далее «ОЗАА») при производстве изделий методом литья под давлением;

2) смесь АБС-пластика и полипропилена (далее «продавки»), образующаяся на «ОЗАА» при переходе с одного материала на другой при производстве изделий методом литья под давлением. Данная смесь может образовываться и на других предприятиях, где перерабатывают данные материалы;

3) материал на основе дробленой полипропиленовой мешковины, полученный на УП «Белвнешпродукт» (г. п. Самохваловичи);

4) полипропилен экструзионной марки 01030А ТУ 2211-015-00203521-99. Чистый термопласт взят для сравнения.

Из исследуемых материалов методом пластформования изготавливали плиты 250×250 мм, толщиной 4–5 мм. Режимы изготовления плит следующие: температуры по зонам экструдера 210, 230, 240°C; температура накопителя 240°C; усилие прессования 400 кН; время выдержки под давлением 1 мин. Из плит вырезали стандартные образцы для испытания на растяжение. Для получения температурных зависимостей длительного $E(T)$, мгновенного $H(T)$ модулей и времени релаксации $\tau(T)$ определяли значения данных параметров вязкоупругости при различных температурах (20, 40, 60, 80°C) на установке [4]. Точность регулирования температуры составляла $\pm 1^\circ\text{C}$. С помощью тензодатчика записывали деформацию рабочей части образца как функцию времени (кривые кратковременной ползучести) при данной температуре.

Значения мгновенного и длительного модулей и времени релаксации рассчитывали по методу наименьших квадратов по линеаризованным кривым кратковременной ползучести. Зависимости параметров вязкоупругости от температуры показаны на рис. 1. Мгновенный и длительный модули, а также время релаксации с увеличением

температуры уменьшаются. Данные зависимости характерны для термопластичных полимеров. Зависимости мгновенного и длительного модулей упругости для полипропиленовой мешковины и вторичного АБС отличаются (в первом случае вогнутая кривая, во втором – выпуклая). Характер зависимостей для «продавок» аналогичен зависимостям для АБС. Вид зависимостей для полипропиленовой мешковины и экструзионного полипропилена также подобен.

Таким образом, характер зависимостей зависит от типа материала. Температурные зависимости параметров вязкоупругости аппроксимировали следующими функциями:

$$H(T) = H_0 \cdot \exp \left[- \left(\frac{T - T_0}{a_H} \right)^{b_H} \right],$$

$$E(T) = E_0 \cdot \exp \left[- \left(\frac{T - T_0}{a_E} \right)^{b_E} \right],$$

$$\tau(T) = \tau_0 \cdot \exp \left[- \left(\frac{T - T_0}{a_\tau} \right)^{b_\tau} \right],$$

где $H_0, E_0, \tau_0, a_H, a_E, a_\tau, b_H, b_E, b_\tau$ – параметры уравнений, зависящие от типа материала.

Из условия минимума дисперсии определяли коэффициенты принятых уравнений. Коэффициенты уравнений представлены в таблице.

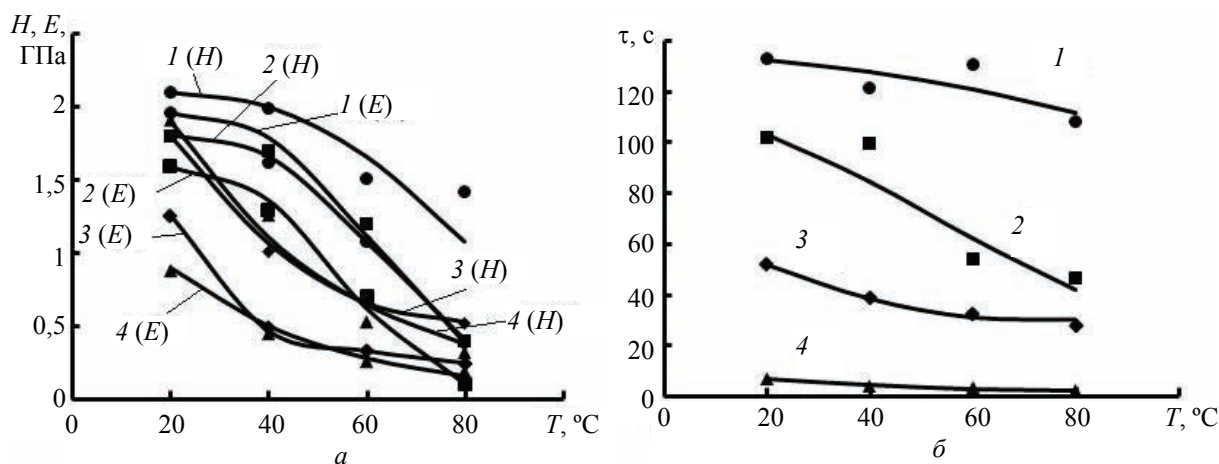


Рис. 1. Температурные зависимости параметров вязкоупругости:

a – мгновенный и длительный модули; b – время релаксации:

1 – вторичный АБС; 2 – «продавки»; 3 – полипропиленовая мешковина; 4 – полипропилен (точки – эксперимент, линии – по аппроксимирующим уравнениям)

Таблица

Параметры аппроксимирующих уравнений

Материал	H_0 , ГПа	E_0 , ГПа	τ_0 , с	b_H	b_E	b_τ	a_H	a_E	a_τ
Вторичный АБС	2,10	1,96	133	2,6	2,6	1,4	70	50	210
ПП – мешковина	1,80	1,26	51,8	0,7	0,5	0,7	44	22	120
ПП – экструзионный	1,9	0,9	6,7	1,0	1,0	1,0	37	34	45
«Продавки»	1,81	1,59	103	2,6	2,6	1,4	51,5	41	65

Для определения термоструктурной деформации $\varepsilon_T(t)$ образец толщиной 4–5 мм нагревали в термокамере до 100°C. Измеряли температуру в центре образца как функцию времени $T(t)$ и одновременно деформации, обусловленные температурным расширением. Деформации измеряли при помощи тензометрической скобы. Предварительно записывали температурную деформацию самой скобы, чтобы избежать погрешностей.

По измеренной температурной деформации (функции термического расширения) рассчитывали температурный коэффициент линейного расширения a_T , приняв зависимость деформации от температуры в виде линейной функции $\varepsilon_T(T) = a_T(T - T_0)$, где T_0 – начальная температура. В результате измерений для «продавок» получили $a_T = 5,4 \cdot 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$, вторичного АБС $a_T = 7,9 \cdot 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$. Эти величины хорошо согласуются со справочными данными для чистых термопластов.

Таким образом, получили все необходимые характеристики для решения уравнения (2). Для примера вычисляли процесс деформирования образца из «продавок», нагретого до температуры 90°C и охлаждаемого на воздухе. Распределение температуры в центре образца при охлаждении на воздухе определяли, решая стандартную задачу теплопередачи [1]. Изменение температуры в центре образца показано на рис. 2.

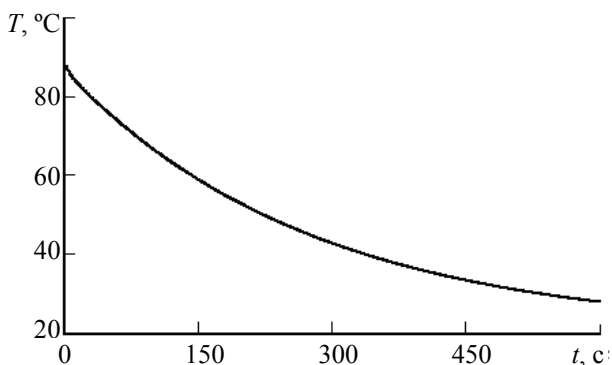


Рис. 2. Изменение температуры в центре образца из «продавок» при охлаждении на воздухе

В соответствии с рассчитанным профилем температур подставляли параметры вязкоупругости в уравнение (2) и находили деформации образца в течение времени (ползучесть). Кривые ползучести для различных напряжений, действующих в образце, представлены на рис. 3.

В начальный период времени жесткость образца невысока и деформации от нагрузки превышают усадочные, следовательно, деформации

увеличиваются. После некоторого времени жесткость образца растет и усадочные деформации становятся больше, чем деформации от нагрузки. Следовательно, деформация уменьшается (рис. 3). Вид кривых деформации существенно зависит от соотношения температурных зависимостей параметров вязкоупругости и усадки материала.

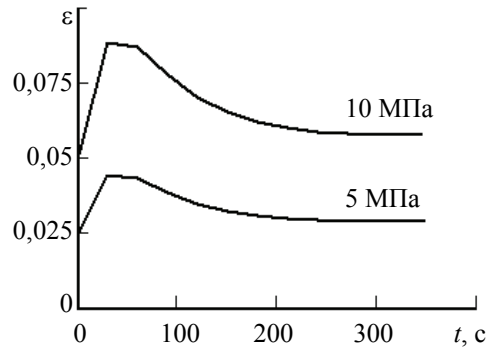


Рис. 3. Кривые деформации

Заключение. В результате исследований определены температурные зависимости параметров вязкоупругости, усадочные деформации вышеуказанных материалов, рассчитаны деформации при охлаждении. Величина деформации существенно зависит от соотношения температурных зависимостей параметров вязкоупругости и усадки материала. Результаты исследований могут быть использованы при расчете режимов охлаждения в процессах формообразования изделий гибридной структуры из композиционных материалов на основе данных смесей полимеров.

Литература

1. Ставров, В. П. Формообразование изделий из композиционных материалов: учеб. пособие / В. П. Ставров. – Минск: БГТУ, 2006. – 482 с.
2. Ставров, В. П. Профили из армированных термопластов с гибридной структурой. 1. Конструкция / В. П. Ставров, О. И. Карпович, А. Л. Наркевич // *Материалы, технологии, инструменты*. – 2005. – Т. 10, № 4. – С. 101–108.
3. Карпович, О. И. Температурные зависимости вязкоупругих свойств материала на основе смеси АБС-пластика и полипропилена / О. И. Карпович // *Новые технологии рециклинга отходов производства и потребления: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 28–29 мая 2008 г. / Белорус. гос. техн. ун-т; редкол.: И. М. Жарский [и др.]. – Минск, 2008. – С. 148–151.*