

---

---

# ТЕПЛОВЫЕ РЕЖИМЫ И НАДЕЖНОСТЬ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

---

---

УДК 536.2.08

Д. П. Волков, Л. А. Кулиева, М. В. Успенская, А. В. Токарев

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Изучено влияние стеклянных наполнителей на теплопроводность полимерных материалов на основе полиуретана. Продемонстрировано влияние концентрации наполнителя — стеклянных микрошариков — и температуры нагрева на теплопроводность композиционного материала. Объяснены причины изменения теплопроводности композиции при введении наполнителя, теплопроводность которого отличается на порядок по сравнению с теплопроводностью полимерной матрицы.

*Ключевые слова:* полимерная композиция, полиуретан, теплопроводность, стеклянные микрошарики.

Широкое использование эластомеров в машино- и приборостроении обуславливает необходимость введения наполнителей в исходные полимерные матрицы, что существенно повышает их эксплуатационные и технологические свойства [1]. Предпочтение здесь отдается уретановым эластомерам, представляющим собой литые, термопластичные и вальцуемые материалы, широко применяемые для получения конструкционных изделий.

В целях удешевления и уменьшения горючести материалов, а также увеличения коэффициента трения, повышения их атмосферостойкости и увеличения теплопроводности в полимерную матрицу основного или декоративного слоя полиуретанового покрытия вводят наполнители. Например, литые материалы судостроительного назначения на основе форполимера СКУ-ПФЛ-100 наполняют кварцевым песком, цинковой пылью и шлифзерном.

Хорошо изученным и широко применяемым материалом в качестве наполнителей различных полимерных композиций являются стеклянные микрошарики (СМШ). Такие композиты используются, например, для гашения вибрации, повышения ударопрочности, жесткости и износостойкости, а также при производстве изделий из литых полимеров, что позволяет устранить эффекты коробления и усадки. Наполнение полимеров стеклянными микрошариками и другими материалами силикатной природы (стекловолокно, песок, глинозем, порошкообразный асбест, мелкодисперсный кремний) также практикуется как способ повышения огнестойкости.

Исследование теплофизических характеристик наполненных эластомеров является актуальной задачей при расширении возможных областей применения данных композитов. Именно поэтому создание композиций на основе полиуретанов и стеклянных микрошариков и анализ их теплофизических свойств в зависимости от температуры и концентрации составили цель исследований, описанных в настоящей статье.

В ходе экспериментов были получены форполимеры уретана с использованием двухстадийного метода [2]. Состав изоцианатсодержащих олигомеров был идентичен составу промышленно выпускаемых продуктов марки СКУ-ПФЛ-100.

Твердые наполненные материалы из жидковязких олигоуретанов были сформованы в виде пластин требуемой толщины, из которых вырубкой на прессе получали образцы для испытаний. Отверждение образцов осуществлялось в течение 3 суток при температуре  $80 \pm 1$  °С. Перед испытаниями исследуемые эластомерные композиции дополнительно подвергались кондиционированию не менее 10 дней при комнатной температуре для завершения стабилизационных процессов, обеспечивающих совокупность физико-механических характеристик.

Зависимость физико-механических свойств полиуретановых композиций от концентрации наполнителя — стеклянных микрошариков диаметром  $D < 100$  мкм — представлена в табл. 1. Плотность образцов определялась по ГОСТ 267–73, твердость по Шору — по ГОСТ 263–75, физико-механические характеристики — в соответствии с методикой, регламентируемой ГОСТ 270–75, на разрывной машине ZWICK-1445 при скорости растяжения образцов 500 мм/мин.

В таблице приняты следующие обозначения, характеризующие свойства полимерных материалов:  $\sigma_p$  — прочность образца на разрыв;  $\varepsilon_p$  — относительное удлинение образца при разрыве;  $\sigma_{100}$  — прочность образца;  $\gamma$  — твердость образца.

Таблица 1

Олигомер	Массовая доля СМШ, %	$\sigma_p$ , МПа	$\varepsilon_p$ , %	$\sigma_{100}$ , МПа	$\gamma$ , о.е.
СКУ-ПФЛ-100	0	42,0	322	15,6	95
СКУ-ПФЛ-100	5	36,4	300	14,7	95
СКУ-ПФЛ-100	20	28,7	292	13,2	95
СКУ-ПФЛ-100	40	21,4	272	10,8	95
СКУ-ПФЛ-100	60	12,4	260	4,8	95

В ходе эксперимента оценивалось влияние стеклянных микрошариков натрийборосиликатной природы диаметром  $D \leq 300$  мкм в качестве наполнителя. Технические характеристики используемых СМШ, являющихся продуктами переработки отходов листового стекла, представлены ниже.

Внешний вид.....	Серовато-белый порошок
Диаметр, мкм.....	$29 < D \leq 100$
Плотность частицы, г/см <sup>3</sup> .....	2,3—2,5
Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup> .....	1,52
Теплопроводность, Вт/(м·К).....	0,8—1,3
Гигроскопичность, %, не более.....	0,20
Морозоустойчивость, цикл, не менее.....	50
Температура начала размягчения, °С.....	550—700

Исследования температурной зависимости теплопроводности композиционных полимерных материалов в режиме монотонного нагрева проводились на измерителе теплопроводности ИТ —  $\lambda$  — 400. Для измерения теплопроводности использовался метод динамической калориметрии для твердых теплоизоляторов и полупроводников, теоретическое обоснование которого подробно изложено в работе [3]. Образцы изготавливались в виде дисков диаметром 15 мм и высотой около 2 мм; предел допускаемой основной погрешности измерения теплопроводности составил  $\pm 10$  %.

Результаты экспериментальных исследований для образца СКУ-ПФЛ-100 диаметром  $D < 100$  мкм представлены в табл. 2.

Таблица 2

Температура нагрева $t$ , °С	Теплопроводность композита $\lambda$ , Вт/(м·К)			
	Без наполнителя	СМШ — 5 %	СМШ — 20 %	СМШ — 60 %
50	0,141	0,143	0,161	0,277
75	0,145	0,150	0,169	0,282
100	0,150	0,159	0,180	0,297
125	0,154	0,168	0,188	0,315
150	0,159	0,176	0,201	0,327

Анализ таблицы показывает, что при увеличении температуры нагрева наблюдается увеличение теплопроводности композиции независимо от ее состава. Повышение концентрации наполнителя, обладающего большей теплопроводностью, чем полимерная матрица, приводит к увеличению теплопроводности композиции.

Результаты исследования показали, что введение такого наполнителя (теплопроводность наполнителя и полимера отличаются примерно на порядок) незначительно изменяет теплопроводность композиции. Последнее можно объяснить тем, что пространственные структуры в суспензиях образуются вандерваальсовыми силами сцепления, связывающими частицы через тонкие остаточные прослойки жидкой среды, в частности полимера. В этом случае наполненные полимеры можно рассматривать как систему, состоящую из частиц твердого тела с тонкими полимерными прослойками на поверхности [4], которые существенно снижают теплопроводность всей композиции.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Редмен Р. П. Композиционные материалы на основе полиуретанов / Пер. с англ.; Под ред. Ф. А. Шутова. М.: Химия, 1982. 41 с.
2. Любартович С. А., Морозов Ю. Л., Третьяков О. Б. Реакционное формование полиуретанов. М.: Химия, 1990. 288 с.
3. Теплофизические измерения и приборы / Под общ. ред. Е. С. Платунова. Л.: Машиностроение, 1986. 256 с.
4. Липатов Ю. С. Физическая химия наполненных полимеров. М.: Химия, 1977. 304 с.

#### Сведения об авторах

**Дмитрий Павлович Волков**

— канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютерной теплофизики и инженерно-физического мониторинга; E-mail: dpv@grv.ifmo.ru

**Лейла Авазовна Кулиева**

— студентка; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютерной теплофизики и инженерно-физического мониторинга; E-mail: dpv@grv.ifmo.ru

**Майя Валерьевна Успенская**

— канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра физики и техники оптической связи; E-mail: mv\_uspenskaya@mail.ru

**Алексей Владимирович Токарев**

— аспирант; Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Технический университет), кафедра синтетического каучука и элементоорганических соединений; E-mail: altokarev@rambler.ru

Рекомендована кафедрой  
физики и техники оптической связи  
СПбГУ ИТМО

Поступила в редакцию  
18.10.07 г.