

УДК 621.016

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ФИЗИЧЕСКИМИ ПОЛЯМИ

Попов В.М., Новиков А.П., Черников Э.А., Лушникова Е.Н.

ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия, e-mail: etgvglta@mail.ru.

Рассматривается вопрос получения полимерных материалов с повышенной теплопроводностью. На полимерных композициях в виде эпоксидной смолы ЭДП и эпоксидно – полисульфидного клея К – 153 исследовано влияние постоянного магнитного поля на их теплопроводность. Установлено повышение коэффициента теплопроводности магнитообработанных пленок из указанных композиций, что объясняется направленными структурными изменениями полимера на наноуровне.

Для получения более высокотеплопроводных полимерных материалов предлагается метод, в основу которого заложен эффект воздействия магнитотермоволнового или электротермоволнового поля на полимерные композиции с дисперсными наполнителями ферромагнитной и неферромагнитной природы. За счет образования в структуре полимера цепочек из частиц наполнителя заметно возрастает теплопроводность изделий из полимерных композиций.

Ключевые слова: полимерная композиция, магнитотермоволновое поле, электротермоволновое поле, напряженность, коэффициент теплопроводности, частота колебаний, наполнитель.

THERMAL CONDUCTIVITY OF POLIMER MATERIALS, MODIFIED BY THE INFLUENCE OF PHYSICAL FIELDS

Popov V.M., Novikov A.P., Chernikov E.A., Lushnikova E.N.

Voronezh State Forestry Academy, Voronezh, Russia (394087 Voronezh, Timiryazev str., 8), e-mail: etgvglta@mail.ru

The question of producing polymeric materials with high thermal conductivity is investigated. The effect of constant magnetic field on the thermal conductivity on polymer compositions in the form of epoxy resin EAF and epoxy - polysulfide adhesive K — 153 is examined. Increase of the thermal conductivity of magnetic processed films from above-mentioned compositions is defined, because of structural changes aimed in polymer at the nanoscale level.

For more high thermal conducting polymeric materials, method based on the effect of influence of magnetic thermal wave and electric thermal wave fields on polymer compositions with disperse fillers of ferromagnetic and non-ferromagnetic nature is proposed. Due to the formation of polymer chains in the structure of the filler particles the thermal conductivity of polymeric compositions significantly increases.

Key words: polymer composition, magnetic thermal wave field, electric thermal wave field, intensity, thermal conductivity coefficient, oscillation frequency, filler.

Введение

В настоящее время полимеры находят широкое применение в машиностроении, строительстве, при создании авиационных и космических летательных аппаратов, в энергетических установках и в других областях техники. Во многих случаях технические системы с деталями и узлами из полимерных материалов функционируют в режиме повышенных тепловых нагрузок. Отсюда в процессе проектирования и эксплуатации таких систем требуется, во-первых, применение полимерных материалов более высокой теплопроводности и, во-вторых, наличие информации о технологии получения таких полимерных материалов.

Как известно [1], полимеры относятся к классу низкотеплопроводных материалов. Применяемый в настоящее время технологический прием создания полимеров с более

высокой теплопроводностью, в основу которого заложено введение в полимерную матрицу металлических порошков, оказывается малоэффективным и сопровождается снижением прочностных характеристик и увеличением веса полимерного материала [2].

Ранее экспериментальным путем получены данные по увеличению теплопроводности полимерных пленок на основе эпоксидной композиции с дисперсным наполнителем ферромагнитной природы в виде железного порошка путем воздействия на неотвержденную пленку постоянным магнитным полем [3]. Повышение теплопроводности отвержденной полимерной пленки объясняется образованием под воздействием магнитного поля цепочечных структур из частиц наполнителя, выполняющих функции теплопроводящих элементов на пути теплового потока.

Перспективность широкого применения данной технологии для получения полимерных материалов с заранее заданной повышенной теплопроводностью ставит задачу более детального изучения вопроса по влиянию физических полей на теплофизические свойства полимеров.

Цель исследования. Результаты исследования

В данном исследовании поставлены две цели. Во-первых, изучается влияние, в частности, постоянного магнитного поля на теплопроводность ненаполненного полимера и, во-вторых, исследуется эффект повышения теплопроводности дисперснонаполненных полимеров при воздействии комбинированным физическим полем.

Доминирующая на сегодняшний день теория теплопроводности полимеров утверждает, что теплоперенос идет вдоль цепных макромолекул [2]. Поскольку воздействие магнитным полем на полимер сопровождается упорядочением структурных элементов полимера вдоль силовых линий, то очевидно следует ожидать определенной трансформации пути прохождения теплового потока и соответственно изменения теплопроводности полимера. Для подтверждения выдвинутой гипотезы по формированию теплопроводности магнитообработанного полимера проведены специальные исследования с композицией из эпоксидной смолы ЭДП и 10% по объему полиэтиленполиамиона ПЭПА, как отвердителя, а также эпоксидно-полисульфидным клеем марки К-153.

Образцы в виде полимерных пленок в неотвержденном состоянии толщиной 1 мм помещались во фторопластовые кюветы с поверхностями, покрытыми антиадгезивом. Последние вместе с нагревательным элементом устанавливались между полюсами электромагнита, создающего магнитное поле напряженностью до $H = 24 \cdot 10^4 \text{ А/м}$. Время обработки магнитным полем составляло 20 мин, температура композиции поддерживалась в пределах 60 °С.

После отверждения магнитообработанные полимерные пленки исследовались на теплопроводность на установке, функционирующей по методу двух температурно-временных интервалов. Результаты, полученные в процессе проведенных экспериментов, приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Зависимость коэффициента теплопроводности полимерных пленок от напряженности магнитного поля

Марка полимерной композиции	Коэффициент теплопроводности полимерной пленки $\lambda, \text{Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$ при напряженности магнитного поля $H \cdot 10^{-4}, \text{А}/\text{м}$					
	0	6,4	10,8	16	20,8	24
ЭДП+ПЭПА	0,185	0,19	0,2	0,215	0,255	0,256
К –153	0,19	0,2	0,21	0,23	0,259	0,26

Из табл. 1 видно, что воздействие магнитным полем на неотвержденную полимерную пленку сопровождается повышением ее теплопроводности по сравнению с необработанной пленкой. Увеличение напряженности магнитного поля ведет к росту коэффициента теплопроводности пленки.

Наглядное подтверждение выдвинутой гипотезы механизма увеличения теплопроводности полимеров, подвергнутых магнитной обработке, получено при исследовании структур полимерных пленок на растровом микроскопе Jeolio 6380 – Lf с возможным максимальным увеличением 3 нм. На полученных снимках видны изменения пространственной структуры макромолекул полимера под воздействием магнитного поля. Наблюдается образование ориентированных структур из макромолекул в направлении силовых линий магнитного поля, что приводит к повышению теплопроводности полимера.

Как отмечалось выше, повышение теплопроводности полимеров не ограничивается только воздействием магнитного поля. Значительно более эффективным представляется способ обработки в магнитном поле дисперснонаполненных полимерных композиций с наполнителем ферромагнитной природы. Однако и этот способ нельзя считать предельным. Об этом свидетельствует микроструктурный анализ полимерных пленок с порошковым наполнителем, подвергнутых магнитному воздействию. Образовавшиеся цепочки из частиц наполнителя не представляются монолитными. Частичное отсутствие непосредственного контакта между частицами наполнителя снижает в целом теплопроводность полимерной композиции.

Для создания более плотной упаковки частиц наполнителя в полимерной матрице образец в неотвержденном состоянии подвергался воздействию магнитотермоволнового

поля. Вначале дисперснонаполненная полимерная композиция, помещенная во фторопластовую кювету, подвергалась обработке в течение 20 мин на стенде модели ПЭ – 6800, позволяющем создавать частоту колебаний рабочего стола от 15 до 70 Гц с амплитудой колебаний от 0,25 до 1,5 мм. Температура композиции поддерживалась на уровне 60 °С. После этого образец обрабатывался в течение 20 мин в магнитном поле заданной напряженности. Исследовались композиция из смолы ЭДП с отвердителем ПЭПА и эпоксиполиамидный клей марки ВК-9. В качестве наполнителя использовался никелевый порошок ПНК с дисперсностью частиц порядка 18–26 мкм. Отвержденные пленки исследовались затем на теплопроводность. Полученные в процессе исследований результаты приведены в табл. 2.

Из приведенных в табл. 2 опытных данных в сравнении с ранее полученными данными только при магнитной обработке образцов [3] следует, что комбинированная обработка более эффективна. Это объясняется дополнительным воздействием волнового поля, создающего более плотноупакованные структуры из частиц наполнителя [4]. Об этом же свидетельствуют данные для образцов из клея ВК-9 с наполнителем ПНК, полученные в частоте механических колебаний в 20 Гц по сравнению образцами, подвергнутыми воздействию волнового поля при частоте 8 Гц.

Таблица 2 – Зависимость коэффициента теплопроводности обработанных в магнитотермоволновом поле полимерных пленок на основе композиции ЭДП + ПЭПА и клея ВК-9 от напряженности магнитного поля, частоты колебаний и концентрации наполнителя

Марка композиции	Частота механических колебаний, Гц	Концентрация наполнителя, % от объема полимера	Коэффициент теплопроводности $\lambda, \frac{Вт}{м \cdot К}$ при напряженности магнитного поля $H \cdot 10^{-4}, А/м$					
			1	4	10	16	25	28
ВК – 9	20	10	0,22	0,38	0,47	0,57	0,64	0,7
		20	0,4	0,48	0,54	0,62	0,69	0,76
		30	0,44	0,5	0,61	0,68	0,75	0,82
		40	0,48	0,57	0,65	0,69	0,78	0,85
ВК – 9	8	10	0,21	0,36	0,45	0,55	0,6	0,68
		20	0,38	0,45	0,5	0,57	0,65	0,7
		30	0,43	0,48	0,57	0,65	0,72	0,81
		40	0,46	0,53	0,61	0,65	0,73	0,82
ЭДП + ПЭПА	20	10	0,2	0,36	0,49	0,56	0,61	0,65
		20	0,31	0,41	0,55	0,63	0,68	0,7

		30	0,35	0,49	0,57	0,7	0,72	0,75
		40	0,41	0,56	0,78	0,94	0,98	1,02

Предлагаемый метод получения теплопроводных полимерных материалов имеет недостаток, заключающийся в ограниченности ассортимента наполнителей ферромагнитной природы. Для использования более распространенных дисперсных наполнителей неферромагнитной природы, таких как алюминиевая пудра, латунный и медный порошки, предлагается воздействовать на наполненную полимерную композицию электротермоволновым полем.

Для проведения операции по обработке полимерной композиции в электротермоволновом поле использовался вибрационный стенд и высоковольтная установка [5], позволяющая создавать в рабочей ячейке электрическое поле напряженностью до 2000 В/см . Исследовался клей марки ВК-9 с наполнителями в виде латунного порошка дисперсностью 1,8–2,4 мкм и алюминиевой пудры дисперсностью 1,4–1,6 мкм. Результаты проведенных опытных исследований представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Зависимость коэффициента теплопроводности обработанных в электротермоволновом поле полимерных пленок на основе клея ВК-9 с дисперсными наполнителями от напряженности электрического поля, частоты механических колебаний, концентрации наполнителя

Концентрация наполнителя, % от объема полимера	Частота механических колебаний, Гц	Коэффициент теплопроводности $\lambda, \text{Вт/м} \cdot \text{К}$ полимерных пленок при напряженности электрического поля $E, \text{В/см}$				
		100	300	820	1600	1800
<i>а) латунный порошок</i>						
10	10	0,38	0,46	0,51	0,6	0,62
20		0,43	0,56	0,61	0,73	0,75
30		0,48	0,61	0,7	0,82	0,93
40		0,51	0,67	0,75	0,82	0,93
10	20	0,46	0,51	0,58	0,67	0,73
20		0,51	0,58	0,64	0,72	0,82
30		0,57	0,64	0,71	0,79	0,87
40		0,62	0,71	0,79	0,85	0,97
<i>б) алюминиевая пудра</i>						
10	10	0,46	0,55	0,63	0,75	0,82
20		0,52	0,59	0,68	0,78	0,87

30		0,57	0,66	0,78	0,87	0,92
40		0,62	0,74	0,84	0,91	1,12
10	20	0,54	0,63	0,72	0,84	0,91
20		0,59	0,67	0,79	0,88	0,95
30		0,62	0,71	0,83	0,89	1,11
40		0,67	0,78	0,88	0,97	1,26

Из табл. 3 видно, что воздействие электротермоволновым полем на наполненную полимерную пленку приводит к заметному росту ее теплопроводности. При этом диапазон использования неферромагнитных наполнителей значительно шире, чем ферромагнетиков.

Предлагаемые технологии получения полимерных материалов с повышенной теплопроводностью представляются достаточно перспективными и могут найти широкое применение в наукоемких производствах.

Список литературы

1. Новиченок Л.Н., Шульман З.П. Теплофизические свойства полимеров. – Минск : Наука и техника, 1971. – 120 с.
2. Айбиндер С.Б., Андреева Н.Г. Влияние наполнителей на теплофизические, механические и антифрикционные свойства полимеров // Изв. АН Лат. ССР. Сер. физ. и техн. наук. – 1983. – № 5. – С. 3–18.
3. Новиков А.П., Попов В.М. К вопросу о теплопроводности полимеров, подвергнутых воздействию постоянным магнитным полем // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2011. – Т. 7. – № 2. – С. 48–49.
4. Ганиев Р.Ф., Берлин А.А., Фомин В.Н. О влиянии волновых эффектов на полимерные композиционные материалы // Докл. АН СССР. Химическая технология. – 2002. – Т. 385. – № 4. – С. 517–520.
5. Попов В.М., Новиков А.П., Лушников Е.Н. Технология получения теплопроводных полимерных композиционных материалов повышенной прочности путем модифицирования физическими полями // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. – 2011. – № 1. – С. 72–77.

Рецензенты

Мозговой Н.В., д.т.н., профессор, зав. кафедрой промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности Воронежского государственного технического университета, г. Воронеж.
 Бараков А.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой, теоретической и промышленной теплоэнергетики Воронежского государственного технического университета, г. Воронеж.