

*А. В. Гришин, О. И. Кладовщикова, О. А. Медведева, Д. В. Трофимов\**

## **ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ЭПОКСИНОВОЛАЧНЫХ УГЛЕПЛАСТИКОВ**

Технология полимеров идет по пути создания композиционных материалов, в которых путем направленного сочетания компонентов достигается требуемый комплекс эксплуатационных свойств [1].

В данной работе рассматриваются эпоксидные материалы, которые нашли широкое применение в различных сферах. Это объясняется

---

\* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора  
Н. Ф. Майниковой.

уникальным комплексом свойств, присущих данным материалам: высоким механическим и электрическим свойствам, отличной адгезией к различным субстратам, низкой линейной усадкой и отсутствием летучих продуктов при отверждении. В последнее десятилетие эпоксидные олигомеры и полимеры широко используют в качестве матриц для получения углепластиков, характеризующихся сочетанием высокой прочности и жесткости с малой плотностью, низким температурным коэффициентом трения, высокими тепло- и электропроводностью, износостойкостью, устойчивостью к термическому и радиационному воздействиям [2].

Известна работа, где детально исследуются свойства эпоксидно-волачного композита, представляющего собой полимер с добавлением 1% масс. и 2% масс. многослойных углеродных нанотрубок (УНТ) [3]. УНТ обладают высокой способностью к упругой деформации, что повышает прочность при растяжении композитов с наполнителями на их основе. УНТ придают полимерам жесткость и повышают удельные характеристики значений прочности композитов. При хаотичном расположении УНТ модуль упругости композитов мало возрастает по сравнению модулем упругости исходных полимеров, а функционализация и ориентированная укладка УНТ приводят к лучшим результатам.

В данной работе экспериментальные исследования температурных зависимостей теплопроводности проводились на образцах полимерных композиционных материалов.

В качестве матриц исследуемых композитов использована эпоксидно-волачная смола DEN 425, отвержденная метилэндиковым ангидридом дикарбоновой кислоты (МЭА).

В качестве ускорителя в композите использован 2,4,6-три(диметиламинометил)фенол (УП 606/2), в качестве наполнителей применены многослойные УНТ в растворе Лапролат-301 (олигоэфирциклокарбонат) в концентрациях до 1%.

Известно, что для приготовления нанокompозитов необходимо создание устойчивых смесей, в которых неорганические наночастицы хорошо диспергированы в объеме полимерной матрицы. Следует отметить, что прямое структурирование нанодисперсий допускает создание практически любого распределения наполнителя, но реальные процессы переработки лимитируются временем структурирования в высоковязких полимерных средах. Для этой цели используют различные методы модифицирования наночастиц и способы приготовления нанокompозитов [1, 2].

В данной работе технология приготовления образцов из композитов для испытаний заключалась в следующем. В емкость для смешения к эпоксидно-волачной смоле первоначально добавлялась паста на-

ночастиц в активном разбавителе, затем отвердитель и в последнюю очередь – ускоритель. Смесь оставляли отстояться при комнатной температуре около одного часа, для того чтобы вышли пузырьки воздуха. Далее в предварительно разогретую форму (около 100 °С) заливались композиционные составы. Форма помещалась в термощкаф, разогретый до значений температуры 160...180 °С. Время выдержки при температуре – 2 часа.

Температурные зависимости теплопроводности полимерных композиционных материалов, содержащих углеродные нанотрубки, получены с помощью информационно-измерительной системы, позволяющей в одном краткосрочном эксперименте определять температурные зависимости теплопроводности твердых материалов через определяемые программно интервалы времени. Информационно-измерительная система (ИИС) построена в результате существенной модернизации измерителя теплопроводности ИТ-400 [3, 4].

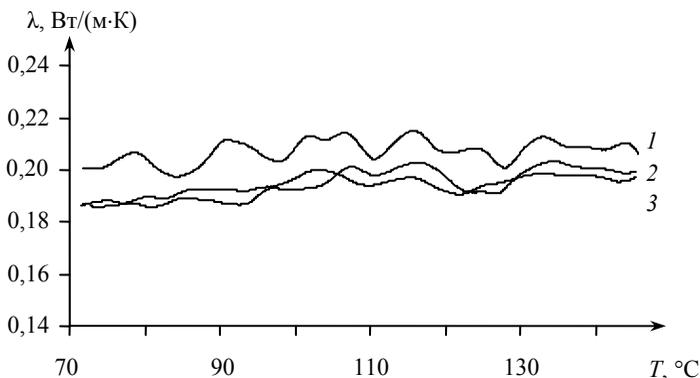
При определении температурной зависимости теплопроводности материалов с помощью разработанной ИИС сигналы с термопар подаются на входы платы, которая имеет программно-управляемый усилитель сигналов, что позволяет изменять диапазон подаваемого напряжения.

Термостатирование адиабатической оболочки измерительной ячейки реализуется программным обеспечением информационно-измерительной системы через выходные сигналы цифроаналогового преобразователя платы. Напряжение питания основного электрического нагревателя измерительной ячейки ИИС обеспечивает соблюдение условий установившегося теплового режима второго рода при разогреве образца из исследуемого материала. Управление нагревом измерительной ячейки информационно-измерительной системы при реализации эксперимента осуществляется программным обеспечением на языке Delphi [3, 4].

Зависимости теплопроводности композиционных материалов на основе эпоксиноволачной смолы с наполнителем УНТ от температуры представлены на рисунке. Каждая из зависимостей 1 – 3 представляет собой результат усреднения пяти параллельных опытов.

Наполнение эпоксиноволачной смолы DEN 425 углеродными нанотрубками в количестве до 1% (0,3 и 0,7%) несколько снижает теплопроводность материала во всем исследуемом интервале значений температуры (70...145 °С), фактически не меняя характера зависимости.

Применялись многослойные углеродные нанотрубки с удельной поверхностью, равной 200...500 м<sup>2</sup>/г.



**Рис. Зависимости теплопроводности материалов на основе эпоксидноволокнистой смолы с наполнителем УНТ от температуры.**

**Количество УНТ:**

1 – исходный материал; 2 – 0,3% УНТ; 3 – 0,7% УНТ

Известно, что при модифицировании полимерного материала углеродными нанотрубками важным аспектом является равномерное распределение нанотрубок, что оказывает значительное влияние на свойства получаемого изделия.

Вследствие высокого поверхностного натяжения углеродные нанотрубки склонны к агрегированию, что затрудняет их распределение в материале. Агрегированные частицы препятствуют образованию монокристаллического слоя матрицы, тем самым создавая дефекты структуры.

Для дезагрегирования УНТ следует применять различные химические и физические методы, позволяющие добиваться индивидуализации трубок [2].

Данные, представленные на рисунке, свидетельствуют о том, что несмотря на высокую теплопроводность отдельных углеродных нанотрубок, входящих в состав исследуемого нами материала, теплопроводность композиционных материалов, полученных с их помощью, снижается. Причиной этого могут быть: способность наполнителя (многослойные углеродные нанотрубки) поглощать газообразные и жидкие вещества (воздух, олигоэфирциклокарбонат), а также – неравномерное распределение углеродных нанотрубок в полимерной матрице.

### Список литературы

1. Кочнова, З. А. Эпоксидные смолы и отвердители: промышленные продукты / З. А. Кочнова, Е. С. Жаворонок, А. Е. Чалых. – М. : ООО «Пейнт-Медиа», 2006. – 200 с.

2. *Влияние наномодифицирующих добавок на свойства полимерных композиционных материалов* / Ю. Ф. Гортышов, В. М. Гуреев, М. М. Галлеев и др. // Образование. Наука, Научные кадры. – 2012. – С. 190 – 192.

3. *Исследование температурных зависимостей теплопроводности эпоксидных углепластиков* / Н. Ф. Майникова, С. С. Никулин, В. С. Осипчик и др. // Пластические массы. – 2014. – № 9–10. – С. 35 – 37.

4. *Измерительно-вычислительная система для регистрации температурных зависимостей теплопроводности и теплоемкости материалов* / Н. Ф. Майникова, Ю. Л. Муромцев, В. И. Ляшков, С. В. Балашов // Заводская лаборатория. – 2001. – Т. 67, № 8. – С. 35 – 37.

*Кафедра «Энергообеспечение предприятий и теплотехника»  
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»*