

*И. А. Зайцев, Д. А. Полубояринов**

СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕГО ПОЛИМЕРНОГО НАНОКОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ И УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Электропроводящие полимеры с наполнителем в виде углеродных нанотрубок (УНТ) занимают особое место среди многофункциональных композиционных материалов, поскольку они способны не только снизить массу изделий, но и использовать электрическую форму энергии для реализации некоторых функций механизма или создания канала информации о его состоянии, что найдет применение в авиационной и космической промышленности, судостроительстве и автомобилестроении. Это объясняется наличием у УНТ уникальных свойств, например, высокой электропроводности [1], которая позволя-

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ТГТУ» А. Н. Блохина.

ет расширить границы применения нанокompозитов и использовать их в качестве элементов электроники и антистатических покрытий. Методы придания электропроводности полимерным материалам, использующиеся многие годы, основывались на внесении большого количества электропроводящей добавки (доля графита, металла или соединения титана составляла около 60...80% от общей массы композита), что приводило к охрупчиванию материала, тем самым снижая прочностные и эксплуатационные характеристики.

Используемый нами метод состоит в непосредственном (физико-механическом) внедрении, распределении и измельчении УНТ в эпоксидной матрице, что позволяет достичь электропроводности примерно в 2...3 Ом·м, при этом вносится сравнительно небольшое количество добавки. Так же УНТ увеличивают прочность, что позволяет скомпенсировать уменьшение данной характеристики материала при использовании достаточно больших соотношений вносимого материала в эпоксидную матрицу.

Положительная сторона предложенного нами метода: возможность наполнения композита УНТ вместе с классическими наполнителями. Данное свойство дает возможность нам говорить о перспективе промышленного внедрения использованного нами метода.

Целью работы является изучение изменения электропроводности полученных нанокompозиционных полимерных материалов с разным соотношением наполнителя и эпоксидной смолы.

В качестве электропроводящей добавки использованы многостенные УНТ «Таунит» и УНТМ «Таунит М», полученные промышленным методом на ООО «НаноТехЦентр», г. Тамбов [3]. Основные характеристики углеродных наноматериалов представлены в табл. 1. Процент внесения в эпоксидную матрицу составил от 0,5 до 6% (масс.).

1. Характеристики используемых углеродных нанотрубок

Параметры	«Таунит» (УНТ _т)	«Таунит-М» (УНТ _м)
Наружный диаметр, нм	20...50	10...30
Внутренний диаметр, нм	10...20	5...15
Длина, $\mu\text{м}$	2 и более	2 и более
Насыпная плотность, $\text{г}/\text{см}^3$	0,3...0,6	0,025...0,06
Удельная поверхность (методом сорбции по азоту), $\text{м}^2/\text{г}$	160 и более	270 и более

Разница в диаметрах наполнителя говорит нам о разном количестве слоев, а следовательно, большем количестве УНТм, которое приходится на 1 грамм вещества, что влияет на свойства электропроводимости. При внесении одинаковых массовых процентов электропроводимость будет разная.

УНТ, ввиду своей структуры, склонны к образованию агломератов, что препятствует равномерному распределению их в матрице. Данная особенность не позволяет нам достичь желаемой эффективности при модификации полимера. Поэтому внесение и распределение наполнителя совмещалось диспергированием в эпоксидной смоле. Диспергирование происходило в зазоре 5 мкм со сдвиговым воздействием и последующей УЗ-обработкой. Распределение и локализация УНТт и УНТм в структуре эпоксидной матрицы после деагломерации представлены на рис. 1 и 2.

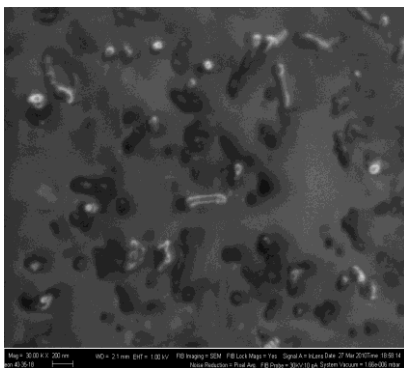


Рис. 1. Микроструктура 5% масс. УНТт в эпоксидной смоле, масштаб: 200 nm

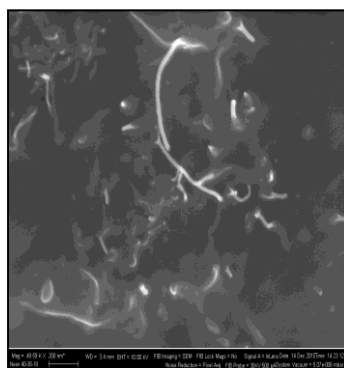


Рис. 2. Микроструктура 5% масс. УНТм в эпоксидной смоле, масштаб: 200 nm

Анализ влияния предложенных методик внесения наполнителя на дисперсность частиц проводился методом динамического рассеяния света на анализаторе Nicomp 380 ZLS, который позволяет провести оценку размера частиц дисперсной фазы, который являлся бы истинным, если они были сферической формы. Так как УНТ и агломераты, которые они образуют, не имеют шарообразной формы, то результаты анализа позволяют нам оценить лишь качественное изменение дисперсного состава анализируемых суспензий до эмульгирования и после. Исходная дисперсность УНТт и УНТм находилась в пределах 5...35 мкм. После распределения и измельчения предложенным способом до 500 нм.

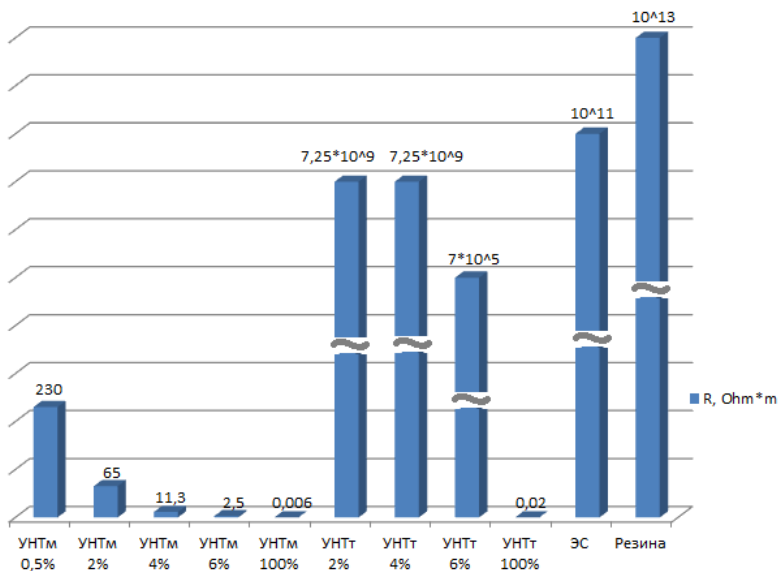


Рис. 3. Зависимость изменения удельного сопротивления от структуры добавки и ее процентного содержания

Для определения удельного электрического сопротивления использовался «Тераомметр Е6-13А». Образцы имели вид цилиндров длиной 40 мм и 4 мм в диаметре. Контакты были присоединены с равным прижимным усилием с торцов образца. Результаты исследования представлены на рис. 3.

Исследования показали, что УНТМ, по сравнению с УНТ, обладают большей электропроводностью благодаря разной хиральности. Предполагается, что УНТ являются хорошими проводниками электричества, образуя перколяционный контур, который появляется на границах макромолекул в процессе полимеризации, что и придает нанокompозиту свойства электропроводности. Устойчивый перколяционный контур образуется при внесении около 2% (масс.) УНТМ в матрицу.

В результате проведенного исследования было установлено, что для придания композиционным материалам электропроводности рекомендуется использовать в качестве наполнителя УНТМ. Верхний предел процента добавки ограничивается падением вязкости мономера. В исследованных диапазонах влияния концентраций на сопротивление электричеству зависимость носит прогнозируемый характер, что может послужить правилом для определения процента добавки под требования к электропроводности создаваемого материала.

Список литературы

1. Encapsulated nanowires: Boosting electronic transport in carbon nanotubes / A. Vasylenko, J. Wynn, V. C. Medeiros et al. // Physical Review B. 95. – 2016. – P. 97 – 104.
2. Thostenson, E. T. Advances in the science and technology of carbon nanotubes and their composites: A review / E. T. Thostenson, Z. Ren, T. W. Chou // Composites Science and Technology. 61. – 2001. – P. 1899 – 1912.
3. ООО «Нанотехцентр»: [сайт]. – URL : <http://nanotc.ru>

*Кафедра «Техника и технологии производства нанопродуктов»
ФГБОУ ВО «ТГТУ»*