

УДК 669-539.5

*И. А. Зайцев\**

**ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЙ НАНОКОМПОЗИТ  
НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ  
И УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК**

Возросший интерес получения и исследования новых гибридных полимерных материалов на основе углеродных нанотрубок (УНТ), обоснован наличием у них уникальных свойств, например, высокой электропроводности [1], которая позволяет 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.

---

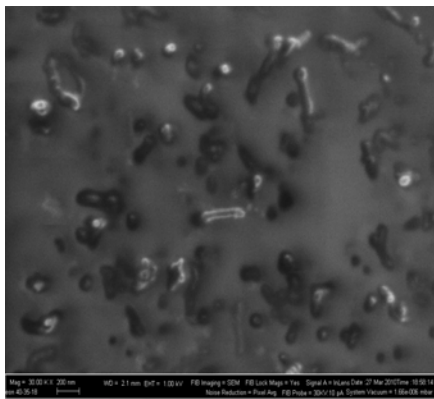
\* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ГГТУ» А. Н. Блохина.



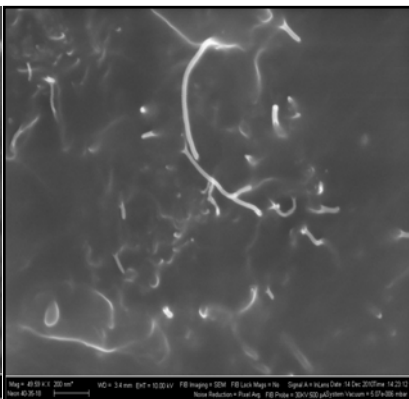
## 1. Характеристики используемых углеродных нанотрубок

Параметры	«Таунит» (УНТг)	«Таунит-М» (УНТм)
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

УНТ склонны образовывать агломераты, препятствующие их равномерному распределению в матрице и тем самым не позволяющие достичь желаемой эффективности при модификации полимера. Поэтому внесение и распределение наполнителя совмещалось с диспергированием в эпоксидной смоле, которое происходило в зазоре 5  $\mu\text{м}$  со сдвиговым воздействием и с последующей ультразвуковой обработкой. Распределение и локализация УНТг и УНТм в структуре эпоксидной матрицы после деагломерации представлены на рис. 3 и 4.



**Рис. 3. Микроструктура 5% масс. УНТг в эпоксидной смоле, масштаб: 200 nm**

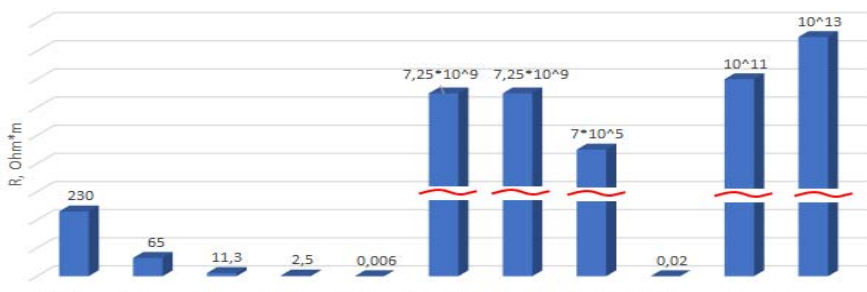


**Рис. 4. Микроструктура 5% масс. УНТм в эпоксидной смоле, масштаб: 200 nm**

Анализ влияния предложенных методик внесения наполнителя на дисперсность частиц осуществлялся методом динамического рассеяния света (рассеяние света на частицах в процессе броуновского дви-

жения) на анализаторе Nicomp 380 ZLS, который позволяет произвести оценку размера частиц дисперсной фазы, который являлся бы истинным, если бы они были сферической формы. Поскольку УНТ и образующие ими агломераты не шарообразны, результаты анализа позволяют оценить только качественное изменение дисперсного состава анализируемых суспензий до и после диспергирования. Исходная дисперсность УНТг и УНТм лежала в области 5...35 мкм, а после распределения и деагломерации предложенным способом – 500 нм.

Для определения удельного электрического сопротивления использовался «Тераомметр Е6-13А». Образцы представляли собой цилиндры диаметром 4 мм и длиной 40 мм. Контакты присоединялись с одинаковым прижимным усилием с торцов образца. Результаты исследования представлены на рис. 5.



**Рис. 5. Зависимость изменения удельного сопротивления от структуры добавки и ее процентного содержания**

Исследования показали, что УНТм обладают лучшей электропроводностью по сравнению с УНТг (рис. 5), предположительно, из-за разной хиральности. Предполагается, что углеродные нанотрубки являются проводниками электричества и образуют перколяционный контур, который выстраивается на границе макромолекул в процессе их полимеризации, что и придает электропроводящие свойства нанокompозиту. В области 2% (масс.) наполнения УНТм, предположительно, образуется устойчивый перколяционный контур.

Из проведенного исследования, следует, что для придания электропроводности композиционным материалам рекомендуется использовать УНТм. Максимальный процент добавки лимитируется падением вязкости мономера. В исследованных диапазонах влияния концентраций на электросопротивление зависимость носит прогнозируемый характер, что может служить правилом для определения процента добавки под требования электропроводности создаваемому материалу.

### Список литературы

1. Encapsulated Nanowires: Boosting Electronic Transport in Carbon Nanotubes / A. Vasylenko, J. Wynn, V. C. Medeiros, A. J. Morris, J. Sloan, and D. Quigley // *Physical Review B*. – 2016. – No. 95. – 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 and Chou T. W. // *Composites Science and Technology*. – 2001. – No. 61. – P. 1899 – 1912.
3. ООО «Нанотехцентр» : [сайт]. – URL: <http://nanotc.ru>
4. Non-linear Electrical Conductivity of Carbon Nanotubes/WS2 Nanotubes (Nanoparticles) Hybrid Films / V. K. Ksenevich, N. I. Gorbachuk, H. Viet, M. V. Shuba, A. G. Paddubskaya and A. D. Wieck // *Nonlinear Phenomena in Complex Systems*. – 2017. – No. 4. – P. 360 – 367.

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