

**МОДИФИКАЦИЯ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫМИ
УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ**

В последнее время развитие техники требует создания новых типов композиционных материалов. Все большее внимание уделяется модификации полимеров с помощью внедрения на технологических стадиях углеродных наноструктурированных материалов, к числу которых относятся углеродные нанотрубки. Углеродные нанотрубки демонстрируют уникальное сочетание свойств, обусловленных упорядоченной структурой их нанофрагментов: хорошая электро- и теплопроводность, химическая и термическая стабильность, большая прочность в сочетании с высокими значениями упругой деформации. Дополнительное улучшение свойств нанотрубок и расширение сферы их возможного применения может быть достигнуто прививанием функциональных групп к их поверхности путём химического воздействия.

Цель данной работы заключалась в разработке эффективных методик функционализации многостенных углеродных нанотрубок и введения полученных продуктов в состав эпоксидного полимера для получения композита с высокими прочностными и электрофизическими характеристиками.

В качестве исходного сырья для синтеза использовались многослойные углеродные нанотрубки полученные CVD-методом. Воздействием азотной кислоты в течение 9 ч при 90 °С на поверхность нанотрубок были привиты кислородсодержащие группы.

Дальнейшая обработка предполагала получение аминогрупп, опосредованно связанных с атомами углерода структуры нанотрубок. Для этого были опробованы различные методики:

- взаимодействие окисленных нанотрубок с ТЭТА в течение 8 ч при 140 °С;
- взаимодействие окисленных нанотрубок с ТЭТА в течение 7 ч при 80 °С в присутствии каталитических количеств серной кислоты;
- взаимодействие окисленных нанотрубок с тионилхлоридом в среде ДМФА в течение 24 ч при 65 °С с целью перевода поверхностных карбоксильных групп в хлорангидридные; взаимодействие полученного продукта с ЭДА в среде ДМФА в течение 24 ч при 90 °С.

Количественная оценка степени функционализации нанотрубок на каждой стадии проводилась методом боэмовского потенциометрического титрования.

На основе исходных, окисленных и аминированных нанотрубок были получены образцы композитов с концентрацией аддитива 0,1 – 0,9 %. Для этого рассчитанные массы навесок под воздействием ультразвука диспергировались в отвердителе (ТЭТА), который затем перемешивался с эпоксидной смолой марки DER 3531. Полученная однородная смесь вакуумировалась, заливалась в силиконовые формы, а затем отверждалась 4 ч при 80 °С и 7 дней при комнатной температуре.

Для полученных образцов композита были определены предел прочности на сжатие ($\sigma_{в. сж.}$, МПа) и удельная электрическая проводимость (σ , См/м), представленные в таблице.

Таблица – Результаты испытаний

Характеристики	Концентрация нанотрубок в композите, % по массе					
	0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
$\sigma_{в. сж.}$, МПа	91,3	94,1	96,8	98,2	98,2	96,7
σ , См/м	–	0,17	0,20	0,24	0,25	0,25

Полученные данные свидетельствовали о приросте прочностных свойств материала и появлении проводимости. Данный может быть применен в антистатических и экранирующих элементах радиоаппаратуры.