

УДК 621.74-621.315.56

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ СИСТЕМЫ МЕДЬ-УГЛЕРОД

Абраменко Георгий Игоревич

*Магистр 2 года,*

*кафедра МТ-8 «Материаловедение»*

*Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана*

*Научный руководитель: Ю.А. Курганова,*

*доктор технических наук, профессор кафедры МТ-8 «Материаловедение»*

*Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана*

Разработка и использование композиционных материалов, содержащих в своем составе наноразмерный наполнитель, ведет к значительным положительным изменениям во многих направлениях человеческой деятельности. Наибольшее распространение в материаловедении в качестве наноразмерных наполнителей композитов различного назначения получили наноструктуры углерода. Так, например, с момента открытия в 1991 году углеродные нанотрубки (УНТ) стали объектом многочисленных экспериментальных и теоретических исследований. Значительный интерес со стороны исследователей объясняется достаточно высокими механическими, химическими и электрическими характеристиками данных наноструктур углерода.

На сегодняшний день опубликовано большое число работ посвященных исследованию зависимостей электрических свойств углеродных нанотрубок от их структуры и размеров. Так УНТ в зависимости от структуры и строения могут проявлять электрические свойства металла или полупроводника.

Также необходимо отметить, что при получении УНТ в результате синтеза обычно получается смесь трубок, две трети которых имеют полупроводящие свойства, и одна треть — металлические. В литературе также отмечается, что изгибные деформации УНТ приводит к уменьшению ее проводимости.

На нынешнем этапе развития производства существующий ассортимент электротехнических материалов практически удовлетворяет потребность всех нуждающихся отраслей промышленности. Однако в ближайшей перспективе предстоит решение новых задач по повышению нагрузочно-скоростных характеристик и снижению массогабаритных показателей изделий электротехнического назначения. Решение данных задач возможно только путем разработки новых композиционных материалов и технологий их получения.

Как известно, медь и алюминий являются двумя доминирующими проводниковыми материалами на протяжении последних столетий. При производстве высоконагруженных и ответственных изделий иногда используется серебро, поскольку его электропроводность примерно на 5 % выше, чем у меди. Однако серебро является достаточно дорогим материалом. Для сравнения медь, алюминий и серебро имеют следующие значения электропроводности и температурного коэффициента удельного электрического сопротивления. При комнатной температуре удельная электропроводность меди составляет 59,88 МСм/м, а температурный коэффициент удельного электрического сопротивления –  $3,886 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ . Для серебра значения удельной электропроводности и температурного коэффициента удельного электрического сопротивления соответственно равны 63 МСм/м и  $3,8 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ , а для алюминия – 37,5 МСм/м и  $3,9 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ . Интересно также отметить, что удельная электропроводность конструкционной стали находится в пределах 1,5 – 7,6 МСм/м.

Одним из перспективных направлений материаловедения является разработка композиционных материалов, содержащих в своем составе наноразмерные компоненты, например, углеродные нанотрубки (УНТ), обладающие высокими электрическими, физико-механическими и триботехническими характеристиками. УНТ проявляют стабильность на воздухе, при механических, электрических и тепловых нагрузках. Их вводят в составы высокоэффективных многофункциональных композитов в качестве упрочняющей и антифрикционной добавки.

Постоянное совершенствование методов получения УНТ, таких как химическое осаждение из паровой фазы, дуговой разряд, лазерная абляция и т.д., позволило наладить массовое производство УНТ и значительно снизить их стоимость. Результаты теоретических и экспериментальных исследований показали, что образцы очищенных УНТ по величине допустимой электрической токовой нагрузки в 1000 раз превосходит медные провода. Однако высокая электропроводность характерна только для очищенных однослойных УНТ и в конечном счете, представляет собой наномасштабное явление. Тем не менее, УНТ можно использовать в качестве добавки для улучшения электрических, физико-механических и триботехнических свойств композитов. При этом матрицы, используемые при производстве композитов, наполненных УНТ, могут представлять собой полимер, металл или оксид металла. Большинство композитов с УНТ основаны на использовании полимерных матриц из-за простоты их получения.

Исследования, проведенные на композитах с медной матрицей и добавками УНТ и других наноструктур углерода, указывают на высокие электрические, триботехнические и тепловые свойства данных материалов, что обеспечивает возможность их использования в качестве электрических контактов, в том числе скользящих. При этом композиты на основе порошковых систем «медь – УНТ» сочетают положительные характеристики обоих компонентов, то есть хорошие тепловые и электрические проводимости меди, низкий коэффициент теплового расширения и высокие смазывающие свойства углерода.

Предметом исследования являлись композиционные материалы на основе порошковых систем «медь – УНТ». Цель исследования состояла в получении зависимостей изменения удельного электрического сопротивления и удельной электропроводности композитов от количественного содержания в них УНТ.

## Литература

1. *Стариков С.С.* Ношение воды в решетке. – М.: Физматгиз, 1958. – 313 с.
2. *Новиков Н.Н.* К вопросу о переносе воды в сосуде с переменной структурой плотности. // Доклады АН СССР. – 1972, Т.115. – №3. – С. 174-182.
1. *Курганова Ю.А.* Перспективы развития металломатричных композиционных материалов промышленного назначения., - МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва
2. *Fülep, D.* Self-organised formation of nano- tubes from graphene ribbons. A molecular dynamics study / D. Fülep, I. Zsoldos, I. László // Materials Research Express. – 2016. – Vol. 3. – P. 105044– 105055.
3. *Booker, R.* Nanotechnology for dummies / R. Booker, E. Boysen. – Wiley Publishing Inc, 2005. – 366 с.
4. *Мищенко, С.В.* Углеродные наноматериалы. Производство, свойства, применение / С.В. Мищенко, А.Г. Ткачев. – М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.
5. *Kassing, R.* Functional properties of nano- structured materials / R. Kassing, P. Petkov, W. Ku- lisch, C. Popov. – Springer Netherlands, 2006. – 460 p.
6. *П.П. Мальцев.* Наноматериалы. Нанотехнологии. Наносистемная техника., М.: Техносфера, 2006. – 152 с.

7. *А. А. Захарченко, Б. К. Петров.* Проводимость однослойных углеродных нанотрубок с металлическими свойствами в приближении свободных электронов
  8. *Л. С. Левитов, А. В. Шитов,* Функции Грина. Задачи с решениями, Физматлит, Москва (2002), задача 81.
  9. *А.В.Гец, В.П.Крайнов.* Проводимость одностенных углеродных трубок, ЖЭТФ, 2016, том 150, вып. 6(12), стр. 1246-1251.
  10. *Dai-Ming Tang, Dmitry G. Kvashnin, Ovidiu Cretu,* Chirality transitions and transport properties of individual few-walled carbon nanotubes as revealed by in situ TEM probing. *Elswvier, Ultramicroscopy, Vol. 194, November 2018, pages 108-116.*
  11. *S. Iijima.* Helical microtubules of graphitic carbon, *Nature*, 354, 56 (1991).
  12. *П.П. Мальцев.* Наноматериалы. Нанотехнологии. Наносистемная техника., М.: Техносфера, 2006. – 152 с.
  13. *А. А. Захарченко, Б. К. Петров.* Проводимость однослойных углеродных нанотрубок с металлическими свойствами в приближении свободных электронов.
  14. *Л. С. Левитов, А. В. Шитов,* Функции Грина. Задачи с решениями, Физматлит, Москва (2002), задача 81.
  15. *А.В.Гец, В.П.Крайнов.* Проводимость одностенных углеродных трубок, ЖЭТФ, 2016, том 150, вып. 6(12), стр. 1246-1251.
  16. *Пул, Ч., Ф. Оуэнс.* Нанотехнологии. М.: Техносфера, 2005, 336 с.
  17. Таблицы физических величин. Справочник. Под ред. акад. И. К. Кикоина. М.: Атомиздат, 1976, 1008 с.
  18. *Пасовец В.Н. и др.* Порошковые нанокompозиты триботехнического назначения. Минск: КИИ, 2016, 295 с.
  19. *Ковтун В.А., В.Н. Пасовец, Ю.М. Плескачевский.* Получение, свойства и безопасность композитов на основе порошковых металлов и наноструктур углерода. Гомель: БелГУТ, 2011, 200 с. 321
  20. *Ковтун, В.А, В.Н. Пасовец, Ю.М. Плескачевский.* Металлоуглеродные композиционные порошковые материалы для ответственных узлов машин и механизмов. Гомель: БелГУТ, 2013, 283 с.
  21. *Пасовец, В.Н., В.А. Ковтун.* Влияние механоактивации исходных порошковых компонентов на структурообразование и свойства композиционных материалов на основе систем медь – наноструктуры углерода. *Материалы, технологии, инструменты*, том 13, № 3, 2008, с. 87–93.
  22. *Пасовец, В.Н., В.А. Ковтун.* Активирующее устройство композиционных порошковых смесей: пат. 11036 Респ. Беларусь, МПК В 02С 17/16.; Афіцыйны бюл., Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці, №2, 2016, с. 141.
  23. *Стоянов, А.А.* Исследование электропроводности пористых материалов. *Вестник Донбасской государственной машиностроительной академии*, том 29, № 4, 2012, с. 164-169.
  24. *Базалий П.А. и др.* Электрофизические характеристики одифицированных углеродных нанотрубок. *Наноиндустрия*, том 39, № 1, 2013, с.48-52.
-