

## **ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНАЯ МОДИФИКАЦИЯ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН НАНОЧАСТИЦАМИ МЕТАЛЛОВ**

В.В. Слепцов, Р.А. Цырков, Д.Ю. Кукушкин, А.О. Дителева, С.В. Мацыкин

### **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА**

УГЛЕРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, НАНОЧАСТИЦЫ, КАВИТАЦИЯ, МЕТАЛЛИЗАЦИЯ, ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ

## **ELECTRO-PULSE MODIFICATION OF CARBON FIBERS BY METAL NANOPARTICLES**

V.V. Sleptsov, R.A. Tsyrcov, D.Y. Kukushkin, A.O. Diteleva, S.V. Matsykin

### **KEYWORDS**

CARBON MATERIALS, NANOPARTICLES, CAVITATION, METALLIZATION, THIN-FILM COATINGS

Ежегодно в мире увеличивается спрос на электронные устройства, работающие от встроенных в них источников энергии. Основные требования, выдвигаемые потребителем к таким устройствам – высокая вычислительная мощность, длительный срок работы без подзарядки и малый вес. Исходя из этого перед производителями накопителей энергии ставятся задачи – повышения плотности энергии накопителя, уровня безопасной эксплуатации и снижения времени зарядки.

Одно из направлений по решению этих задач – поиск и разработка универсальных электродных материалов. Такие материалы должны сочетать в себе ряд важных характеристик, таких как: высокая удельная площадь поверхности при малом весе; высокая пористость материала и правильная геометрия структуры пор; высокая электрическая проводимость по всей его поверхности; широкий диапазон рабочих температур.

Перспективным типом материалов, способным в промышленном масштабе сделать шаг вперёд в разработке качественно новых накопителей энергии, может стать углеродное волокно. В литературе [1] уже описаны способы разработки накопителей с материалом электродов, сделанным из углеродного материала «Бусофит». Развитие идеи применения углеродного волокна в качестве электродного материала привело к разработке технологии формирования проводящего металлического слоя на поверхности нитей углеродного волокна методом магнетронного распыления [2].

Предложенный способ модификации материала, оказывает положительное влияние на его характеристики, в частности снижается ESR и поверхностное сопротивление, а также увеличивается площадь поверхности материала и улучшается электрический контакт между электродным материалом и токосъёмником. Но предложенный метод не решает задачу металлизации материала внутри его объема, что никак не сказывается на сопротивлении через толщу материала.

Для уменьшения как внутреннего, так и объемного сопротивления волокна была проведена электроимпульсная модификация электродного материала. Данный метод основан на эффекте кавитации, который возникает в зоне формирования наночастиц в процессе схлопывания парогазового пузырька [3]. Под воздействием акустических волн, содержащиеся в растворе наночастицы проникают в материал и фиксируются в поровом пространстве за счет ударно-волновой природы кавитации. Данная технология

обеспечивает одновременное получение наночастиц и их позиционирование на поверхности и в объеме углеродного материала в едином технологическом цикле.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ву Дык Хоан, В.В. Слепцов. Анализ конструктивно-технологических решений создания конденсаторных структур и теоретические исследования предельных значений энергоёмкости. Международный научно-исследовательский журнал. № 10-2(41) 2015 г. 31-38.
2. В.В. Слепцов, С.Н. Куликов, Д.Ю. Кукушкин, Р.А. Цырков, Ву Дык Хоан. Вакуумная технология формирования тонкопленочных покрытий на поверхности высокопористых материалов конденсаторных структур. X международная научно-техническая конференция «Вакуумная техника, материалы и технология» № X – 2015. С. 259-263
3. Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности, сельском и домашнем хозяйстве / В.Н. Хмелев, Г.В. Леонов, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.В. Шалунов. Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2007.

Работа была выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России, номер темы FSFF-2023-0008.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Цырков Роман Александрович – Московский авиационный институт, г. Москва. e-mail: roma1992@yandex.ru

Кукушкин Дмитрий Юрьевич – кандидат технических наук, (ORCID: 0000-0002-6968-1495), Московский авиационный институт, г. Москва. e-mail: Skyline34@nxt.ru

Слепцов Владимир Владимирович – доктор технических наук, профессор (ORCID: 0000-0002-1171-336X), заведующий кафедрой РТН, Московский авиационный институт, г. Москва. e-mail: 08fraktal@inbox.ru

Дителева Анна Олеговна – (ORCID: 0000-0002-0819-6517), Московский авиационный институт, г. Москва. e-mail: anna.diteleva@mail.ru

Мацыкин Сергей Васильевич – кандидат технических наук, доцент, Московский авиационный институт, г. Москва. e-mail: msev2000@mail.ru