

**УДК 621.789**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ С УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ**

Бочкарев Сергей Александрович  
студент 1 курса магистратуры  
кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель: Л.В. Федорова, д.т.н., профессор  
МГТУ им. Н. Э. Баумана, факультет «Машиностроительные технологии»

С момента своего открытия углеродные нанотрубки стали объектом многочисленных экспериментальных и теоретических исследований. Значительный интерес со стороны исследователей объясняется уникальными механическими, химическими и электрическими характеристиками данных структур

Углеродные нанотрубки проявляют большую энергетическую стабильность, чем фуллерены или графеновые пленки. Вместе с возможностью регулировать проводимость нанотрубки путем изменения ее структуры это позволяет уже сейчас применять эти материалы в различных лабораторных устройствах. Благодаря своим аномально высоким механическим характеристикам, углеродные нанотрубки входят в число наиболее перспективных материалов.

Углеродные нанотрубки (УНТ) — это протяженные цилиндрические структуры с диаметром от одного до нескольких десятков нанометров и длиной до нескольких микрон, состоящие из одного или нескольких свернутых в трубку графеновых слоев с гексагональной организацией углеродных атомов. Трубки заканчиваются обычно полусферической головкой, которая может рассматриваться как половина молекулы фуллерена.

В зависимости от способа свертывания графенов существует три типа цилиндрических УНТ: — «кресло» («две стороны каждого гексагона ориентированы перпендикулярно оси УНТ) — «зигзаг» (при параллельном положении к оси) и спиральные (любая пара сторон гексагона расположена к оси нанотрубки под углом, отличным от 0 или 90°).

Двустенные углеродные нанотрубки (ДУНТ) состоят из двух коаксиальных графеновых монослоев, имеющих различные структурные и электрические характеристики. В двустенных углеродных нанотрубках внешняя трубка защищает внутреннюю от химических и механических воздействий, в то время как внутренняя трубка является механической опорой для внешней. Внутренняя трубка имеет диаметр, сопоставимый с одностенными нанотрубками. ДУНТ более устойчивы к механическому воздействию, чем одностенные нанотрубки, или заполненные фуллеренами одностенные углеродные нанотрубки (ОУНТ).

Многослойные углеродные нанотрубки (МУНТ) отличаются от однослойного более широкого разнообразия форм и конфигураций: «русская матрёшка»; «рулон» («свиток», «швейцарский рулет»); «папье-маше»

Структура «русской матрёшки» представляет собой коаксиально вложенные друг в друга однослойные цилиндрические нанотрубки. Структура «Папье-маше» представляет собой цилиндрическую структуру, составленную из небольших графеновых фрагментов. Простейшим примером многослойных УНТ являются двустенные углеродные нанотрубки (ДУНТ), которые, однако, по своим свойствам отличаются от большинства МУНТ, из-за меньшего вклада взаимодействий между внутренними и внешними трубками.

В то время как одностенные углеродные нанотрубки могут иметь полупроводниковый или металлический тип проводимости, многослойные нанотрубки обладают только металлическим типом проводимости.

Электрические свойства углеродных нанотрубок заключается в том, что они могут быть металлическими или полупроводящими в зависимости от их диаметра и хиральности. В результате синтеза обычно получается смесь трубок, две трети которых имеют полупроводящие свойства, и одна треть — металлические. Металлические трубки обычно имеют кресельную структуру.

Для однослойных нанотрубок естественен вопрос о возможном минимальном диаметре нанотрубки. Наиболее естественным ограничением при этом могла бы служить молекула фуллерена, половина которой служит замыкающей частью УНТ.

Применение нанотрубок в зоне высокотемпературного воздействия на сталь является актуальной задачей, так как позволяет повысить упругие свойства в тонких поверхностных слоях и тем самым исключить появление микротрещин. Особенно эта задача важна при обработке сложнопрофильных поверхностей, резьбы, галтелей.

Нанесение нанотрубок на поверхностный слой при электромеханической обработке позволяет уменьшить вероятность образования микротрещин, необходимо проведение дальнейших исследований в этой области.

### **Список литературы**

1. Елецкий А. В. Механические свойства углеродных наноструктур и материалов на их основе // Успехи физических наук – 2007. – Т. 177, № 3. – С. 233–274.
2. Суздалев И. П. Нанотехнология: физико химия нанокластеров, наноструктури наноматериалов. – М.: КомКнига, 2006. – 592 с.
3. Елецкий А. В. Углеродные нанотрубки и их эмиссионные свойства // Успехи физических наук – 2002. – Т. 172, № 4. – С. 401–437.