

УДК 533.95:544.272

НЕПРЕРЫВНЫЕ СХЕМЫ СИНТЕЗА УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБ

Ю.В. Коробкин, Г.В. Попов, Л.И. Назина

Воронежская государственная технологическая академия

Рецензент К.В. Харченков по представлению С.И. Дворецкого

Ключевые слова и фразы: осадок; параллельные схемы синтеза; режущий инструмент; углеродные нанотрубки; электродуговой синтез.

Аннотация: Рассмотрены перспективные методы непрерывного получения углеродных нанотрубок, проанализированы различные схемы синтеза, выделен ряд актуальных научных задач, и предложена схема непрерывного получения осадка.

В последние годы наблюдается подлинный бум исследований, направленных на изучение и развитие механизмов синтеза углеродных нанотруб (УНТ) в различных условиях, установление физико-химических характеристик, структурных особенностей и определение путей наиболее эффективного практического использования углеродных нанотруб. Физико-химические свойства УНТ позволяют рассматривать данный объект как материал, обладающий уникальными характеристиками: необычными электронными свойствами, потрясающей жесткостью, прочностью и упругостью. В настоящее время мировой объем производства нанотрубок исчисляется килограммами в год, что определяет их весьма высокую стоимость. В такой ситуации вопрос о возможности широкомасштабного практического применения будет решаться по мере увеличения их производства и соответственно снижения цены. Разработка технологий, позволяющих производить трубки в достаточном количестве и достаточной длины, в настоящее время является особенно актуальной задачей.

Коробкин Ю.В. – ассистент кафедры «Управление качеством и машиностроительные технологии» Воронежской государственной технологической академии; Попов Г.В. – профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Управление качеством и машиностроительные технологии» Воронежской государственной технологической академии; Назина Л.И. – кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление качеством и машиностроительные технологии» Воронежской государственной технологической академии.

Существует множество экспериментальных методов синтеза нанотруб. Их можно получать лазерным испарением, электродуговым методом, химическим осаждением паров и т.д. Все они основаны на выделении ионов углерода и создании условий (температура, давление) для их объединения в УНТ.

Несомненно, наилучшей техникой синтеза нанотруб высокого качества остается метод, основанный на использовании дугового разряда с графитовыми электродами. Он позволяет наиболее просто управлять процессом образования нанотрубок и отличается большой производительностью.

Схема получения УНТ электродуговым методом представлена на рис. 1. Камера 2 связана с вакуумной линией и с гелиевой установкой. Непрерывный поток гелия при необходимом давлении является предпочтительным перед статической атмосферой газа. В качестве электродов 1 и 4 используются графитовые стержни высокой чистоты, хотя высокая степень чистоты графита важна, но не очевидна ее исключительная необходимость. Дуговой разряд горит между графитовыми электродами в камере с охлаждаемыми водой стенками 3 при давлении буферного газа порядка 500 торр. Ток зависит от геометрических размеров стержней, диаметр которых составляет от 5 до 20 мм, давления газа и т.д., но обычно выбирается в диапазоне 50...100 А. Напряжение к электродам подается при стабилизации давления. Анод 1 постепенно приближается к катоду 4, пока не загорится дуга. После установления стабильной дуги расстояние между электродами необходимо в автоматическом режиме поддерживать около 1 мм. На катоде образуется осадок, содержащий многослойные нанотрубки, в том случае, если не используются катализаторы.

Преимущества данного метода заключаются в наиболее высоком выходе УНТ, неплохой чистоте осадка и, что очень важно, рост УНТ происходит в ориентированном положении. Дуговым методом можно получить однослойные нанотрубки диаметром 1...5 нм.

Описанный метод не лишен недостатков: во-первых, он трудоемок и требует высокого мастерства; во-вторых, значительное снижение выхода УНТ связано с потерями испаренного углерода, осаждающегося на стенках камеры.

Прогресс в этом направлении затрудняется недостатком понимания механизма роста труб в дуге. Но принципиальным недостатком метода, как и всех вышеназванных, является их дискретный характер, не позволяющий вести процесс синтеза УНТ параллельно с отделением и очисткой полученного осадка.

Для решения задачи повышения объема производства УНТ наиболее предпочтительными являются параллельные схемы отделения полученного осадка и подготовки рабочей поверхности катода механическим путем. При этом катод может совершать, в зависимости от своей геометрической формы и конфигурации рабочей схемы, движения различного типа, и не-

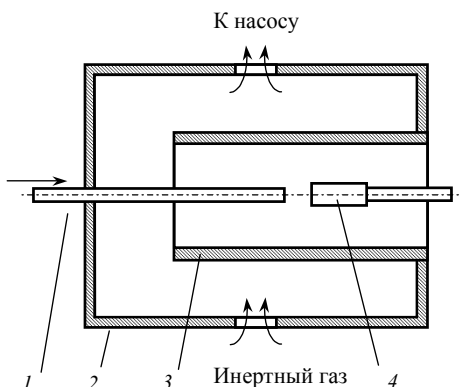


Рис. 1

прерывность движения катода упростит схему «обработки» поверхности. Шероховатость поверхности, не оказывающая влияния на образование нанотрубок, увеличивает силу прилипания осадка к катоду, что в процессе отделения осадка толщиной 10...500 мкм окажет влияние на необходимое усилие механического воздействия и дальнейшее увеличение шерошности. Разработка эффективных технологий напрямую связана с исследованиями механизмов роста нанотрубок.

Очевидно, что электродуговой метод может быть использован для разработки непрерывного способа получения УНТ.

Катод может иметь форму диска, полого цилиндра, который после возникновения электрической дуги и по мере образования осадка начинает вращаться. Осадок при этом непрерывно удаляется режущим инструментом. Важным фактором в данном случае является величина силы тока. Очень большой ток приводит к образованию твердого спеченного материала с небольшим количеством отдельных нанотрубок, поэтому ток должен поддерживаться как можно низким, но достаточным для поддержания стабильной плазмы. При автоматическом регулировании силы тока, а соответственно и образования необходимого слоя осадка, нужно также контролировать и регулировать скорость вращения (перемещения) катода.

Предлагаем рассмотреть некоторые упрощенные непрерывные схемы производства УНТ.

Используя катод 3 (рис. 2) в форме диска и анод 1, можно получать осадок на его цилиндрической поверхности и параллельно отделять его механическим путем. В качестве режущего инструмента 4 используется резец (скребок). В данном случае главное движение совершает катод 3, скорость вращения которого будет зависеть только лишь от скорости образования осадка на его поверхности, а для эффективного отделения осадка необходимо постоянно контролировать усилие резания. В связи с тем, что углеродные нанотрубки разлагаются при температуре, близкой к 800 °С, необходимо контролировать и выдерживать определенную температуру в зоне резания.

Если использовать катод 4 цилиндрической формы (рис. 3) и получать осадок на торцевой поверхности, то в данном случае в качестве инструмента можно использовать резец 3 (скребок), либо многолезвийный инстру-

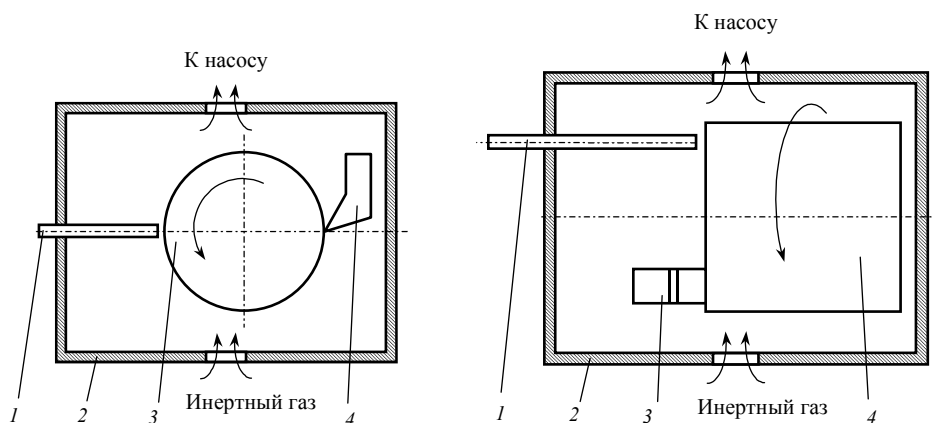


Рис. 2

Рис. 3

румент (фреза). Используя фрезу, которая в данной схеме выполняет главное движение, мы уходим от проблемы, связанной со скоростью и прерывностью вращения катода. Скорость вращения инструмента легко регулируется и необходимо обратить особое внимание на режимы и температуру в зоне резания.

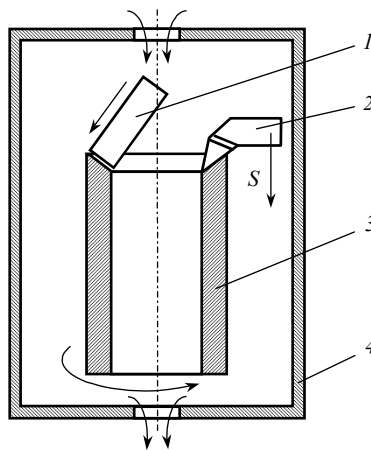


Рис. 4

Из всех рассмотренных выше способов непрерывного производства УНТ наиболее интересным видится электродуговой метод (рис. 4) с катодом 3, имеющим форму полого цилиндра (толстостенная труба, толщина стенки которой соответствует диаметру анода). При получении осадка на торцевой поверхности и его отделении будет лишь незначительно уменьшаться длина катода, что является очень важным моментом для процедуры непрерывности отделения осадка и позволит использовать в качестве режущего элемента 2 несложный однолезвийный инструмент (резец, скребок). Отделенный осадок можно отводить по внутренней полости катода. В данном случае при необходимости режущему элементу можно придать дополнительное движение различной сложности, которое будет позволять не только отделять осадок, но и частично подготавливать поверхность катода для последующей чистовой обработки. Не исключается возможность самозатачивания инструмента. Анодные стержни 1 можно соединять между собой различными способами еще до рабочей камеры.

Таким образом, в результате проведенного исследования сделан вывод о том, что наиболее перспективным методом получения УНТ с точки зрения достижения максимального количества и чистоты продукта является электродуговой, кроме того, данный метод позволяет вести синтез УНТ параллельно с отделением осадка.

В работе предложены схемы непрерывного получения УНТ, что ведет к необходимости решения целого ряда научных задач:

- исследование прочности сцепления осадка с поверхностью катода;
- исследование качества поверхности катода и влияние его на процесс сцепления с осадком;
- анализ и расчет режимов резания (отделения осадка) с целью обеспечения допустимого температурного режима;
- исследование рациональных геометрических параметров электродов и их взаимного расположения;
- исследование механизма сбора и очистки осадка.

Список литературы

- 1 Пул, Ч. Нанотехнологии [Текст] / Ч. Пул, Ф. Оуэнс : перевод с англ. Ю.И. Головина. – 2-е изд., доп. – М.: Техносфера, 2005. – 336 с.
- 2 Харрис, П. Углеродные нанотрубы и родственные структуры. Новые материалы XXI века [Текст] / П. Харрис : – перевод с англ. Л.А. Чернозатонского. – М.: Техносфера, 2003. – 336 с.

Continuous Schemes of Carbon Nanotubes Synthesis

Yu.V. Korobkin; G.V. Popov, L.I. Nazina

Voronezh State Technological Academy

Key words and phrases: precipitate; parallel schemes of synthesis; cutting instrument; carbon nanotubes; electric-arc synthesis.

Abstract: Prospective methods of continuous production of carbon nanotubes are considered; various schemes of synthesis are analyzed; a number of important scientific tasks are set; the scheme of continuous production of precipitate is proposed.

© Ю.В. Коробкин, Г.В. Попов, Л.И. Назина, 2006