

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ В РЕАКТОРАХ ПИРОЛИТИЧЕСКОГО СИНТЕЗА

Алехина Н.В. (ПТТ-11м)\*

Донецкий национальный технический университет

Анализ состояния и тенденций развития объектов nanoиндустрии в настоящее время позволяет сделать вывод о том, что одной из наиболее перспективных областей нанотехнологий является синтез углеродных наноматериалов. Среди этих материалов особое место занимают углеродные нанотрубки, которые при диаметре 1...50 нм и длине до нескольких микрометров обладают рядом уникальных свойств, обусловленных упорядоченной структурой их нанофрагментов. Хорошая электропроводность и адсорбционные свойства, способность к холодной эмиссии электронов и аккумулярованию газов, диамагнитные характеристики, химическая и термическая стабильность, большая прочность и другие свойства.

Существуют два основных способа получения углеродных нанотрубок. Первый состоит в испарении графита и последующей его конденсации. Второй основан на термическом разложении углеродсодержащих. Оценивая эти способы получения нанотрубок с позиции перспектив промышленного производства, преимущества каталитического синтеза неоспоримы: сравнительно низкая энергоемкость процесса; применение дешевого и доступного углеродсодержащего сырья; сравнительно "мягкие" технологические параметры синтеза; простота конструкций и технологичность изготовления используемой аппаратуры; отсутствие необходимости дорогой очистки от примесей.

В качестве базового метода, принятого нами для исследования и совершенствования использован один из известных методов пиролизического разложения метана. Катализатор полученный восстановлением в атмосфере водорода прекурсора NiO / MgO, при температуре 875°K, приготовленного соосаждением в кислой среде солей Ni и Mg. Приблизительное равенство ионных радиусов Mg<sup>2+</sup> и Ni<sup>2+</sup>, способствует тому, что NiO и MgO обладают хорошей взаимной растворимостью и в бинарной системе NiO / MgO образуют твердый раствор Ni<sub>x</sub>Mg<sub>1-x</sub>O. Из-за этого ионы никеля распределены разреженно и равномерно по объему решетки MgO и при взаимодействии прекурсора с водородом только небольшая часть ионов никеля восстанавливается до металлического Ni, причем полному восстановлению всего никеля препятствует также и валентная стабилизация кристаллическим полем MgO. В результате кластеры металлического никеля редко и равномерно распределены на поверхности носителя и имеют малые размеры. Необходимо также констатировать, что количество активного металла в каталитической массе

---

\* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ТТ Бирюков А.Б.

может быть фактором регулирования параметров получаемых УНМ и, в частности, их диаметров.

Проведенные исследования на Ni/MgO катализаторе при пиролизе  $\text{CH}_4$  выявили следующий эффект:

Ni / Mg	2 : 1	1 : 3	1 : 5	1 : 10	1 : 20
T, °C	510	580	620	630	650
Диаметр нанотрубок, нм	35	-	21	17	13

Принцип работы реактора синтеза углеродных наноматериалов состоит в следующем. При перекрытом проходе входного газового патрубка, через патрубок вывода газов из реакционной камеры, в устройство подают инертный газ, например аргон, после продувки инертным газом подключают печь к источнику электропитания и нагревают объем реакционной камеры до необходимой температуры в интервале 500-650°C. Температуру контролируют с помощью термопары, расположенной внутри области реакционной камеры.

Во время продувки устройства инертным газом через отверстие для загрузки контейнеров по одному загружают контейнеры и при помощи горизонтального толкателя перемещают контейнер, создавая цепочку контейнеров, пока один из них не встанет на подставку вертикального толкателя. При этом отверстие для загрузки перекрывается следующим контейнером, благодаря чему осуществляется герметизация внутреннего пространства устройства.

После достижения заданных концентраций газообразного углеводорода и водорода в реакционной камере в нее при помощи вертикального толкателя подается контейнер, в котором находится катализатор. При непрерывной работе устройства заданная концентрация поддерживается постоянно. Контейнер с катализатором выдерживается в реакционной камере заданное время, после этого удаляется из нее при опускании вертикального толкателя. Когда вертикальный толкатель опускается в свое нижнее положение, контейнер возвращается в состав цепочки контейнеров, таким образом, обеспечивается непрерывный процесс создания углеродных нанотрубок.

После нагрева объема реакционной камеры до нужной температуры в нее через входной патрубок подают смесь газообразного углеводорода и водорода, при необходимости разбавленную инертным газом. Во время подачи углеводородов, при помощи электрического привода регулируется угловая скорость вращения поворотной лопатки, при этом обеспечивается и изменение гидравлического сопротивления устройства, пульсация расхода прокачиваемой среды происходит по синусоидальному закону.

Такой способ подвода исходного углеводорода позволяет интенсифицировать тепломассообменные процессы в полости реактора, возможным следствием, является получение новых свойств углеродных наноматериалов.