

УДК 541.135.7:66.092

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ УЛЬТРАМИКРОДИСПЕРСНОГО КАТАЛИЗАТОРА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

© 2011 г. **Е.Ю. Никифорова,**
А.В. Рухов, А.Б. Килимник,
Е.Ю. Филатова, А.Г. Ткачев

ГОУ ВПО Тамбовский государственный технический университет

Введение

В настоящее время углеродные наноструктурированные материалы (УНМ) находят все большее применение в самых различных областях. Это обусловлено специфическими свойствами УНМ (высокая прочность, способность к холодной эмиссии электронов, хорошая электропроводность, сорбционные свойства, химическая и термическая стабильность). Растет количество изделий и материалов, полученных с применением УНМ: полимерные композиты, дорожные покрытия, смазочные вещества, бетоны специального назначения, антистатические, фотоустойчивые и радиопоглощающие покрытия, детали электронной аппаратуры, сенсоры и многое другое.

Наиболее перспективен для промышленной реализации метод газофазного химического осаждения (ГФХО) наноразмерного кристаллического углерода при пиролизе углеродсодержащего газа (пар) на поверхности металл-металлоксидного катализатора. Катализаторами обычно служат 3d-металлы (железо, кобальт, никель), промоторами — молибден, ит-

рий, вольфрам или хром, носителями катализаторов — нелетучие, при температурах синтеза, оксиды металлов (магний, кальций, алюминий, лантан, титан или цирконий), оксид кремния [1]. Катализаторы на основе оксидов никеля [2] улучшают удельные производительные характеристики и способствуют получению качественных УНМ.

Среди методов получения наноразмерного порошка оксида никеля («мокрое» сжигание, гель-золь метод и др.) наиболее рационален связанный с электрохимическим синтезом на переменном токе. Метод обладает рядом преимуществ: относительная простота лабораторной работы и промышленной реализации целевого продукта, а также возможность контроля и управления процессом. Направленный электрохимический синтез — один из удобных и доступных способов получения металлсодержащих порошков. Использование экологически чистого и дешевого электролиза позволяет создавать новые материалы с заданными физико-химическими свойствами.

Исследование синтеза оксидов никеля

Электрохимическое изменение состояния никеля в щелочных растворах при поляризации постоянным током изучено достаточно хорошо [3—4]. Как известно, никель устойчив в щелочных растворах благодаря переходу в пассивное состояние. Однако при наложении переменного тока на электроды никель интенсивно разрушается с образованием ультрамикродисперсного порошка оксида никеля.

Никифорова Е.Ю. — аспирант. Тел.: (4752) 63-03-64.
E-mail: nikif83@mail.ru

Рухов А.В. — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник. Тел.: (4752) 63-55-22.
E-mail: artem1@inbox.ru

Филатова Е.Ю. — канд. техн. наук, ассистент. Тел. (4752) 63-55-22.
E-mail: fil_el@mail.ru

Ткачев А.Г. — д-р техн. наук, зав. кафедрой «Техника и технологии производства нанопроductов». Тел.: (4752) 63-92-93.
E-mail: nanotam@yandex.ru

Килимник А.Б. — д-р хим. наук, зав. кафедрой «Химия». Тел.: (4752) 63-03-64. E-mail: chemistry@nnn.tstu.ru

Для электрохимического получения ультрамикродисперсного порошка оксида никеля была сконструирована установка, позволяющая варьировать частоту переменного синусоидального тока в пределах от 10 до 500 Гц. Electroдами служили прямоугольные пластины с рабочей площадью 1 см² из никеля марки Н-0. Электролиз проводили в стеклянной термостатируемой ячейке объемом 200 мл. Electroды и термометр закреплялись во фторопластовой крышке. Постоянная температура раствора в ячейке поддерживалась термостатом с точностью 0,5 °С. Частота переменного синусоидального тока задавалась генератором FG-515, усилителем Viema W220. Скорость растворения никеля определялась весовым методом.

Чтобы выяснить влияние концентрации щелочи на скорость разрушения никелевых electroдов при наложении переменного синусоидального тока промышленной частоты, электролиз проводили в интервале концентраций от 1 до 17 М при температуре 70 °С (повышение и понижение температуры уменьшает скорость разрушения никелевого electroда).

Как показали исследования, повышение концентрации щелочи увеличивает скорость разрушения никеля. При этом уменьшается напряжение на клеммах электролизера и затраты электроэнергии. Максимальная скорость образования порошка наблюдается в 17 М растворе NaOH, при $T = 70$ °С и плотности тока 2,5 А/см². Дальнейшее повышение плотности тока вызывает интенсивное выделение газа и резкие колебания тока в электрической цепи установки; одновременно в результате интенсивного разогрева электролит выкипает, что требует корректировки концентрации электролита и дополнительного охлаждения ячейки. Поэтому повышение плотности тока более 2,5 А/см² технологически нецелесообразно. При электролизе никелевые electroды покрываются слоем оксида, который со временем осыпается, вызывая постепенное помутнение раствора. Образовавшаяся суспензия равномерно распределяется по всему объему ячейки. Таким образом, в анодный полупериод образуются оксидные слои на поверхности никелевого electroда. В катодный полупериод поверхностный оксидный слой восстанавливается и происходит осыпание не восстановившейся части, чему способствует выделяющийся на катоде водород.

Исследование влияния частоты переменного синусоидального тока на скорость разрушения никелевого electroда показало, что с максимальной

скоростью порошок оксида никеля во всех исследованных растворах гидроксида натрия образуется при частоте переменного тока 20 Гц, что в 3 раза больше, чем при частоте тока 50 Гц (табл. 1) при том же напряжении на electroдах, что позволяет снизить расход электроэнергии на 74 %. Состав продуктов разрушения зависит от используемой частоты тока. Так, в 17 М NaOH при частоте тока 20 Гц получаются порошки черного цвета, характерные для трехвалентных соединений никеля. При частотах переменного тока 70 Гц и более и той же плотности тока образуются зеленые порошки, свойственные двухвалентным соединениям никеля. Химический анализ полученных порошков показал, что при 20 Гц образуются соединения никеля состава NiO_{1,48}. При частоте переменного синусоидального тока 70 Гц и более образуется преимущественно смесь двухвалентных оксидов никеля нестехиометрического состава NiO_{1,14} зеленого цвета (табл. 2).

Объяснить закономерности разрушения никелевых electroдов под действием переменного тока в препаративном синтезе помогли проведенные электрохимические исследования.

Для изучения электрохимического изменения состояния никеля на переменном синусоидальном токе различной частоты были сняты циклические вольт-амперные кривые (ЦВА) на стационарном

Таблица 1
Влияние частоты переменного синусоидального тока на скорость разрушения никелевого electroда в 17 М растворе NaOH, $T = 70$ °С, $i = 2,5$ А/см²

С, М	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
K , мг/(см ² ·ч)	52	75	55	40	24	13,5	6,2	3	2	0,9

Таблица 2
Элементный состав порошков оксида никеля, полученного при различных частотах переменного тока

Состав порошка	Частота тока f , Гц		
	20	50	70
Ni } содержание атомов элементов, %	39,79	39,93	46,20
O }	58,90	58,30	52,82
Примеси	1,31	1,77	0,98
O/Ni	1,48	1,46	1,14

дисковом никелевом микроэлектроде с использованием генератора ГЗ-118, потенциостата EP 22, модуля АЦП-ЦАП 16/16 Sigma USB и ПК. Электродом сравнения служил хлоридсеребряный электрод, вспомогательным — платиновый. Частота переменного синусоидального тока варьировалась в пределах от 20 до 200 Гц.

На рис. 1 приведены ЦВА кривые, снятые в 17 М растворе NaOH при плотности синусоидального тока $2,5 \text{ А/см}^2$, частоте от 20 до 200 Гц и температуре 70°С . Характер протекающих процессов обусловлен частотой тока. При частотах более 50 Гц потенциалы образования Ni_2O_3 не достигаются. При частотах 50 Гц и ниже уже образуется Ni_2O_3 , что согласуется с диаграммой Пурбэ. Соответственно в зависимости от частоты переменного тока изменяется состав продуктов разрушения. Подобную закономерность мы наблюдали при получении порошка оксида никеля в препаративном синтезе.

Таким образом, установлено, что скорость образования ультрамикродисперсного порошка оксида

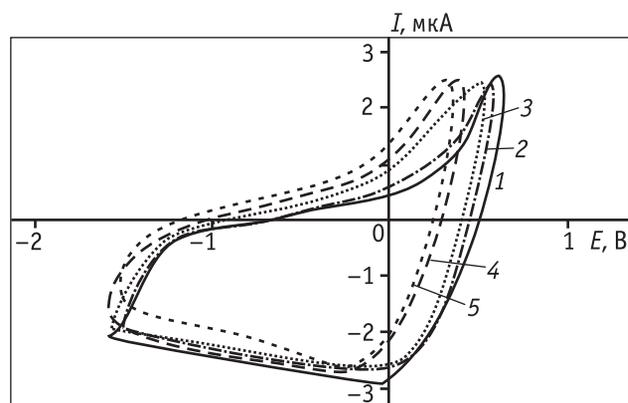


Рис. 1. ЦВА, снятые на никелевом электроде в 17 М растворе NaOH при различных частотах переменного тока, Гц: 1 – 20, 2 – 30, 3 – 50, 4 – 70, 5 – 100

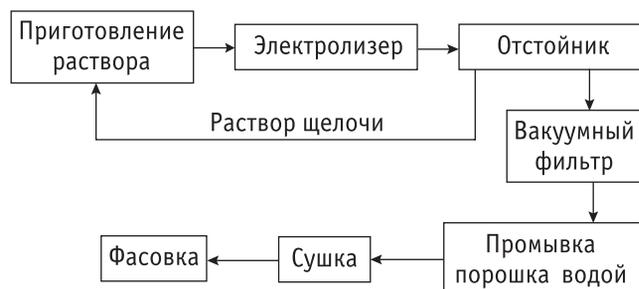


Рис. 2. Технологическая схема синтеза порошка оксида никеля электролизом на переменном синусоидальном токе

никеля при температуре электролита 70°С , частоте 20 Гц, плотности тока $2,5 \text{ А/см}^2$ и концентрации щелочи, равной 17 М, максимальна. Данные электрохимических исследований и препаративного синтеза позволили найти эффективные условия его проведения, в результате чего разработана технология производства ультрамикродисперсного порошка оксида никеля (рис. 2).

Данный способ получения порошка оксида никеля (ПОН) экологически чист, так как в нем не используются опасные и токсичные материалы и составляющие (в отличие от традиционного способа получения катализатора методом «мокрого» сжигания).

Исследование физических свойств ультрамикродисперсных порошков оксида никеля

Порошки оксида никеля исследовались методами сканирующей электронной микроскопии (Neon 40), термогравиметрии и дифференциальной сканирующей калориметрии (STA 449 F 3 Jupiter), БЭТ (Сорбтометр-М).

ПОН после промывки дистиллированной водой и сушки при 90°С представляют собой агломераты одиночных частиц неправильной формы (рис. 3).

Размер частиц получаемого оксида никеля зависит от применяемой частоты переменного си-

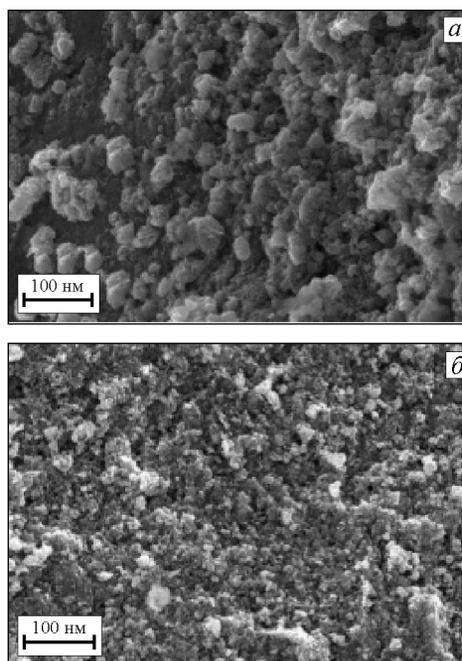


Рис. 3. Микрофотография порошка оксида, полученного при частоте тока, Гц: а – 20, б – 50

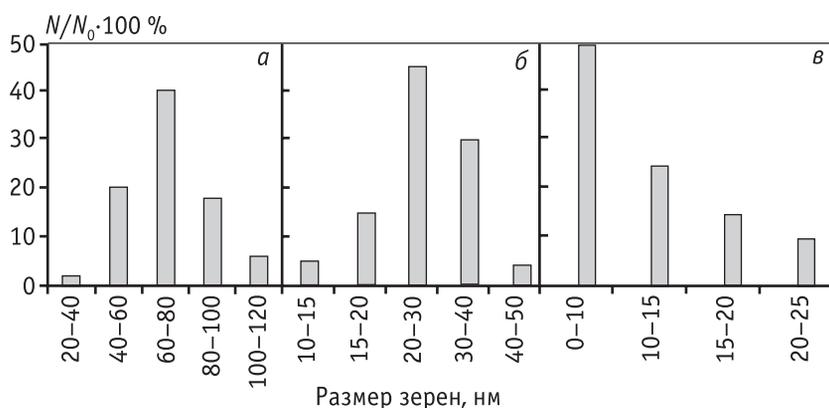


Рис. 4. Распределение по размерам частиц порошка оксида никеля, полученного при частоте тока, Гц : а – 20, б – 50, в – 70

нусоидального тока. Порошки оксида никеля, полученные при частоте тока 20 Гц, — агломераты одиночных частиц с размерами, приведенными в пересчете на сферу от 40 до 100 нм, при частоте тока 50 Гц размер частиц находится в диапазоне 10—40 нм. Дальнейшее увеличение частоты тока формирует порошки оксида никеля с размерами до 25 нм (рис. 4; табл. 3).

Из анализа гранулометрического состава порошка оксида никеля заключаем, что с повышением частоты переменного тока размеры частиц уменьшаются. Связано это с сокращением времени образования оксидных зародышей в анодный полупериод тока при увеличении частоты изменения полярности электрода.

Проведенные эксперименты показали, что наибольший удельный выход и стабильность морфологии УНМ имеют ультрадисперсные порошки оксидов никеля, полученные при температуре электролита 70 °С, частоте 20 Гц, плотности тока 2,5 А/см². Далее будут представлены результаты исследования ПОН, полученные только при данных условиях.

Значения удельной поверхности и кажущийся объем микро- и мезопор порошков оксидов никеля, измеренные многоточечным методом БЭТ, равны соответственно 90 м²/г и 0,053 см³/г.

Таблица 3
Влияние различных режимов получения порошка оксида никеля на его гранулометрический состав

Частота тока <i>f</i> , Гц	10	20	30	50	70
Размер частиц, нм	70–120	40–100	20–70	10–40	10–25

Влияние температуры в воздушной среде на состояние ультрадисперсных порошков оксида никеля исследовалось прибором синхронного термического анализа STA 449 F 3 Jupiter фирмы «Netzsch» (Германия). Температура образца изменялась от 30 до 1100 °С. Масса навески исследуемого образца составляла 33,610 мг. Скорость нагрева 10 К/мин. Нагревание образца проводили в атмосфере воздуха.

Проведенный дифференциально-термический анализ показал, что продукт является сложной гидратированной системой оксидов никеля, которые дегидратируют ступенчато.

Первый из эндотермических эффектов в интервале 5—150 °С свидетельствует об удалении свободной влаги из продукта, потеря массы составляет 2,41 %. Второй и последующие эндотермические эффекты в интервале 150—450 °С, по-видимому, связаны с дегидратацией соединений никеля переменного состава. В диапазоне температур от 450 до 900 °С масса образца стабильна, ее уменьшение при нагреве свыше 950 °С обусловлено изменением степени окисления никеля в оксиде и переходом его из трехвалентного состояния в двухвалентное по общей схеме: 2Ni₂O₃ = 4NiO + O₂↑. Общая потеря массы с учетом адсорбционной воды равна 23,95 % (рис. 5)

Получение углеродных наноструктурированных материалов

Описанные порошки оксида никеля исследовались в качестве катализаторов синтеза углеродных

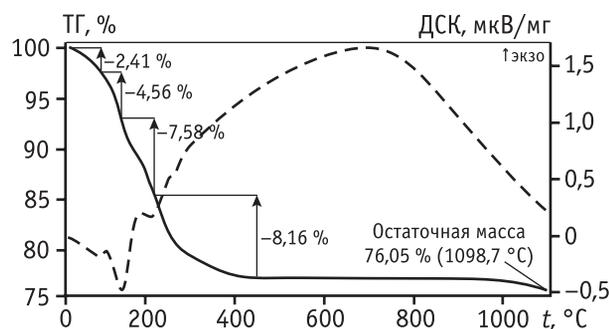


Рис. 5. Термогравиметрия и дифференциальная сканирующая калориметрия ультрадисперсного порошка оксида никеля

наноматериалов. Получали углеродные наноструктурированные материалы на лабораторном реакторе с комбинированным способом нагрева реакционной зоны, имеющем индукционную составляющую. Схема установки дана на рис. 6. Кинетику процесса получения УНМ исследовали электроиндукционным способом, разработанным авторами (Пат. 78491 РФ).

Порошок ультрамикродисперсного оксида никеля во избежание спекания во время синтеза, проходящего при высоких температурах (650–800 °С), предварительно наносили на подложку, изготовленную из радиотехнической керамики, и равномерно растирали пестиком из фторопласта. Плотность нанесения ПОН составляла $3 \cdot 10^{-3}$ г/см², размеры подложки 12×10×0,5 мм. Подложку устанавливали в индукторе враспорку.

В экспериментальной работе использовались:

— катализаторы — порошки оксидов никеля, полученные при температуре электролита 70 °С, частоте 20 Гц, плотности тока 2,5 А/см²;

— углеродсодержащее сырье — пропан-бутановая смесь, ГОСТ 20448–90;

— инертный газ — аргон, ГОСТ 10157–79;

— восстановитель — водород, ГОСТ 51673–2000.

Выполнены две серии экспериментов для определения кажущейся энергии активации и кинетических характеристик процесса получения УНМ при температурах 650 и 700 °С и расходе углеродсодержащего газа 100 мл/мин с предварительной подачей водорода расходом 30 мл/мин для восстановления оксидов никеля. Время подачи углеродсодержащего газа 5 ч, время восстановления 1 мин.

Значение кажущейся энергии активации оценивалось по уравнению Аррениуса и уравнению элементарной теории столкновений. Рассчитанные значения кажущейся энергии активации и абсолютная погрешность ее значения представлены в табл. 4.

Информация о среднем значении кажущейся энергии активации при получении УНМ позволяет констатировать, что реактор работает в диффузи-

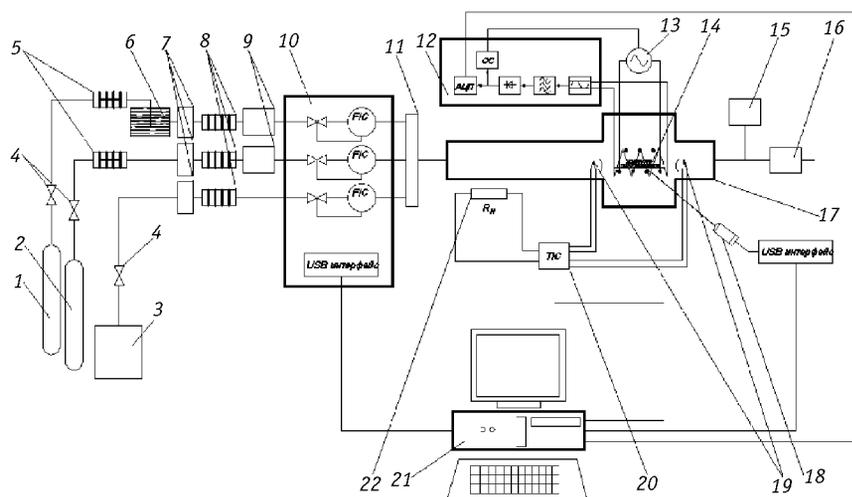


Рис. 6. Схема лабораторной установки для исследования кинетики синтеза УНМ

1 – баллон с углеродсодержащим газом; 2 – баллон с инертным газом; 3 – генератор водорода; 4 – запорная арматура; 5 – адсорбционный фильтр; 6 – адсорбционный демпфер; 7 – индикатор уровня влажности; 8 – механический фильтр; 9 – регулятор давления; 10 – формирователь газовых потоков (с USB интерфейсом); 11 – газовый смеситель; 12 – блок преобразования и согласования; 13 – генератор; 14 – измерительная ячейка, индуктор и подложка; 15 – устройство отбора проб газа; 16 – проточный датчик концентрации водорода; 17 – корпус реактора; 18 – оптический ИК пирометр (с USB интерфейсом); 19 – термопара; 20 – измеритель регулятор температуры (с RS485 интерфейсом); 21 – IBM совместимый персональный компьютер; 22 – электрический нагреватель

онной области, а лимитирующей стадией процесса является внешняя диффузия исходных компонентов и продуктов реакции. Как было показано в работах [5–6], для получения УНМ данный режим работы наиболее предпочтителен. Экспериментальное исследование кинетики данного процесса позволило определить коэффициент эффективной массоотдачи (в пересчете на атомарный углерод) от потока к поверхности катализатора (β , м/с) и характер изменения коэффициента активности поверхности катализатора, численно равный доле поверхности, участвующей в синтезе УНМ, по отношению к первоначальной, k_{Fm} . Данные кинетические параметры рассматриваются в разрабатываемой авторами теории макрокинетики синтеза УНМ в процессе газофазного химического осаждения и необходимы для технологических расчетов при оценке эффективности используемого катализатора и всего процесса в целом. Установлено, что практически во всем многообразии режимов синтеза получения УНМ лимитирующей стадией процесса является внешняя массоотдача от потока углеродсодержащего газа к поверхности катализатора. Поэтому для описания

Таблица 4

Кажущаяся энергия активации при получении УНМ

По уравнению Аррениуса		По уравнению элементарной теории столкновений	
E , кДж/моль	ΔE , кДж/моль	E , кДж/моль	ΔE , кДж/моль
20,9	3,0	28,8	9,6

Примечание. Количество УНМ, полученного с единицы массы катализатора (удельный выход по катализатору K_y), находилось в диапазоне от 7,4 до 11,1 кг/кг.

кинетики синтеза УНМ достаточен анализ кинетики процесса внешней массоотдачи. Коэффициент активности катализатора численно равен доле поверхности, участвующей в процессе синтеза УНМ, по отношению к первоначальной. Коэффициент активности поверхности катализатора характеризует склонность катализатора к дезактивации и, по теории макрокинетики синтеза УНМ, является функцией от удельного выхода K_y .

Исследование кинетики получения УНМ на никель-оксидном катализаторе шло при следующих условиях: температура исходных углеродсодержащих компонентов 460 °С, температура в реакционной зоне 650 °С, расход углеродсодержащего газа 100 мл/мин с предварительной подачей водорода расходом 30 мл/мин для восстановления оксидов. Время подачи углеродсодержащего газа 800 с, время восстановления 60 с. Характер изменения массы УНМ при синтезе представлен на рис. 7. Кинетика получения УНМ характеризуется кривой насыщения, что косвенно может свидетельствовать о протекании одного или нескольких последовательно-параллельных процессов, направленных на отравление катализатора, а восстановление всего объема катализатора прошло до подачи углеродсодержащего газа в токе водорода.

По результатам экспериментального исследования кинетики получения УНМ рассчитано значение коэффициента эффективной массоотдачи, равное $1,8 \cdot 10^{-7}$ м/с, и определен характер изменения

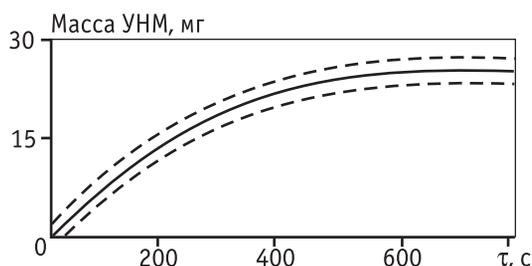


Рис. 7. Кинетика синтеза УНМ

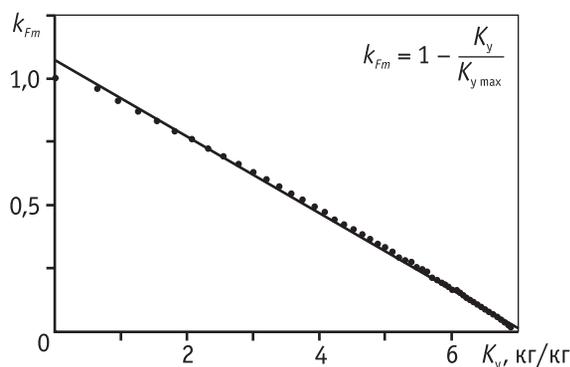


Рис. 8. Зависимость коэффициента активности поверхности катализатора от удельного выхода по катализатору

коэффициента активности поверхности катализатора, представленный на рис. 8.

Следует отметить линейный характер изменения коэффициента активности поверхности катализатора от удельного выхода по катализатору. Отсюда следует, что в технологических расчетах при получении УНМ, когда катализатором служит ПОН, для определения коэффициента активности поверхности катализатора можно взять линейную зависимость (рис. 8), где k_{Fm} — коэффициент активности поверхности катализатора; K_y , $K_{y \max}$ — текущее и максимальное значение удельного выхода по катализатору, соответственно.

Диагностика УНМ, полученных на порошках оксидов никеля

Полученные углеродные наноматериалы исследовались на сканирующем электронном микроскопе (Neon 40) и просвечивающем электронном микроскопе JEM-200CX.

СЭМ-изображения УНМ, полученных при испытаниях катализаторов на основе ПОН, даны на рис. 9.

На рис. 10 представлены изображения УНМ, снятые с использованием электронного просвечивающего микроскопа: а) общий вид углеродных объек-

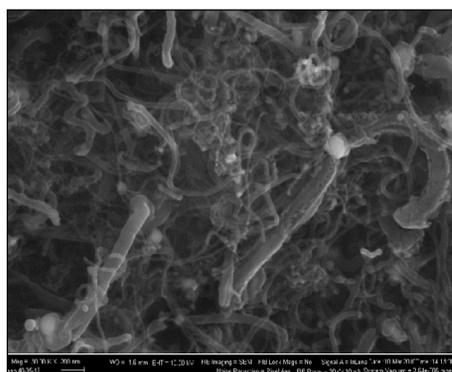
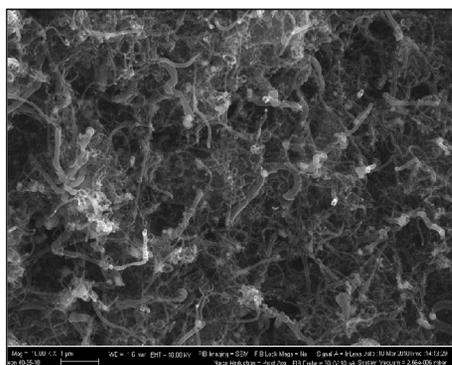


Рис. 9. Изображения УНМ, полученные методами сканирующей электронной микроскопии

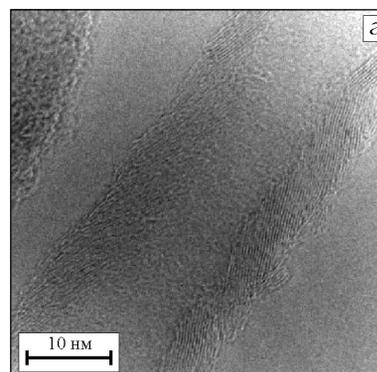
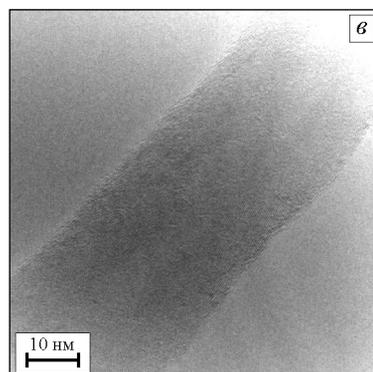
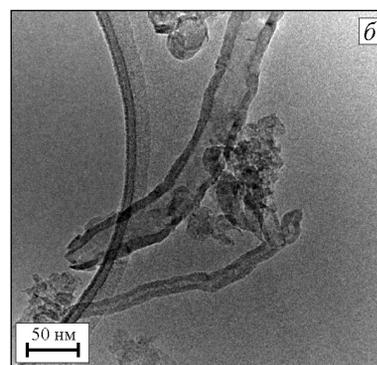
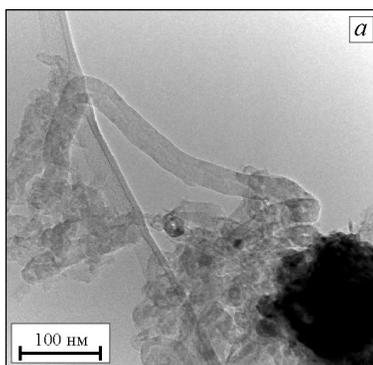


Рис. 10. Изображения УНМ, полученные методами просвечивающей электронной микроскопии (пояснения в тексте)

тов. Видна одиночная углеродная волокнистая структура с диаметром 30 нм и внутренним каналом диаметром 10 нм. Во внутреннем канале имеются перемычки. Справа внизу находится скопление частиц катализатора; б) наблюдается углеродная волокнистая структура. Хорошо видны внутренние каналы большого диаметра; в) углеродная волокнистая структура с коническими стенками (угол конусности $\approx 20\text{--}24^\circ$) с внешним диаметром 30 нм (7 нм внутренний диаметр); г) углеродная волокнистая структура с коническими стенками (угол конусности $\approx 40\text{--}46^\circ$) с внешним диаметром 21 нм (8 нм — внутренний диаметр).

Заключение

Испытания восстановленных порошков оксидов никеля, полученных в лабораторном индукционном реакторе электрохимическим способом на переменном синусоидальном токе в каталитическом процессе газофазного образования углеродных наноматериалов при пиролизе углеводородного сырья, дали положительные результаты. Показана перспективность использования полученных по-

рошков в качестве катализаторов синтеза УНМ как альтернатива применяемому в настоящее время катализаторам, полученным традиционным методом «мокрого» сжигания [7], при котором в атмосферу выбрасывается много загрязняющих веществ. Разработанный способ получения порошка оксида никеля экологически чист, так как не задействует химических окислителей, восстановителей и токсичных веществ. Кроме того, возможна малоотходная технология с замкнутым циклом использования реагентов и воды, а также значительным снижением затрат на утилизацию производственных отходов. Учтя результаты проведенных экспериментальных исследований, можно констатировать, что полученные по приведенной выше технологии ультрадисперсные порошки оксидов никеля позволяют методом газофазного химического осаждения получать углеродные волокна морфологии «стопка чашек» с углом конусности от 20 до 46° , внешним диаметром 21–100 нм и внутренним диаметром от 7 до 45 нм, длиной до 3 мкм. Также следует сказать о необходимости продолжить исследования процесса электрохимического синтеза катализаторов, направленных на стабилизацию характеристик порошков оксидов

никеля и, соответственно, морфологии получаемых углеродных волокон. Представленную технологию получения катализаторов можно использовать для промышленного производства углеродных нановолокон на базе ООО «НаноТехЦентр», Тамбов.

Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 гг.» (Государственный контракт № 02.523.11.3001 от 16 мая 2007 г.), а также в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг.» (Государственный контракт № П1146 от 27 августа 2009 г.).

Литература

1. Раков Э.Г. Пиролитический синтез углеродных нанотрубок и нановолокон // Российский химический журнал (Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева). 2004. № 5. С. 12–20.
2. Ткачев А.Г., Мищенко С.В., Коновалов В.И. Каталитический синтез углеродных нанотрубок из газофазных продуктов пиролиза углеводородов. // Российские нанотехнологии. 2007. № 7–8. С. 100–108.
3. Пшеничников А.Г., Кудрявцева З.И., Буркальцева Л.А., Жучкова Н.А. Состояние поверхности никелевого электрода в области образования фазового оксидного слоя // Электрохимия. 1987. № 4. С. 480–484.
4. Черных Ю.Н., Яковлева А.А. Влияние полупроводниковых свойств окисных пленок на электрохимическое поведение окисно-никелевого электрода в щелочных растворах // Электрохимия. 1970. № 11. С. 1671–1678.
5. Мищенко С.В., Рухов А.В., Ткачев А.Г., Туголуков Е.Н. Особенности синтеза углеродных наноматериалов в аппарате с индукционным нагревом катализатора // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2008. № 4. С. 820–824.
6. Рухов А.В., Туголуков Е.Н. Математическое моделирование процессов переноса при синтезе углеродных наноматериалов в поле индуктора // Научное творчество XXI века: Сборник трудов Ежегодной Всероссийской научной конференции учащихся, студентов и молодых ученых. Т. 1. Красноярск: Научно-информационный издательский центр. 2009. С. 51–53.
7. Долгова О.В., Ткачев А.Г., Михалева З.А., Рыбкин С.В. Создание катализаторов для производства углеродных нанотрубок // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2008. № 1. С. 86–90.

УДК 544.473; 547.313; 549.67

ОЛИГОМЕРИЗАЦИЯ α -ОКТЕНА В ПРИСУТСТВИИ ЦЕОЛИТНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ

© 2011 г. Н.Г. Григорьева,
С.В. Бубённов, Б.И. Кутепов

Учреждение Российской академии наук. Институт нефтехимии
и катализа РАН, Уфа

Введение

Суровые климатические условия России и возни-
кающая в последние десятилетия необходимость
выполнения большого объема работ в богатых ми-

неральными ресурсами труднодоступных субаркти-
ческих районах требуют разработки синтетических
масел, пригодных для использования при низких
температурах. Среди синтетических смазочных мате-
риалов важное место занимают поли- α -олефиновые
[1–2]. Поли- α -олефиновые масла (ПАОМ) — наи-
более востребованный тип синтетических смазочных
масел, в полной мере отвечающих возросшим тех-
ническим и экологическим требованиям к основам

Григорьева Н.Г. – канд. хим. наук, доцент, ст. науч. сотрудник.
Тел.: (347) 281-27-50. E-mail: ngg-ink@mail.ru

Бубённов С.В. – аспирант. Тел.: (347) 281-27-50. E-mail: bubennov@list.ru

Кутепов Б.И. – д-р хим. наук, проф., зав. лабораторией.
Тел.: (347) 281-27-50. E-mail: kutepoff@inbox.ru