

Металл-углеродные композиционные материалы на основе ультрадисперсного детонационного наноалмаза и наночастиц ZnO и CeO₂

О. В. Попков, М. И. Бирюкова, Г. Ю. Юрков, С. В. Кондрашов

Методом термического разложения металлсодержащих соединений синтезированы композиционные порошки двух типов, представляющие собой наночастицы ZnO или CeO₂, локализованные на поверхности агрегатов детонационного наноалмаза (ДНА). Исследованы строение и фазовый состав полученных композиций. Выявлено малое сродство наночастиц указанного состава к поверхности агрегатов ДНА, что проявляется в виде уменьшения концентрации оксидных наночастиц в порошках относительно расчетной, а также укрупнении наночастиц оксида металла при повышении их расчетной концентрации в композите. Показано, что в полученных композитах существует взаимодействие наночастиц оксидов цинка и церия с поверхностью ДНА.

Ключевые слова: композитный порошок детонационного алмаза, оксид цинка, оксид церия.

Введение

Детонационный наноалмаз (ДНА), прошедший первичную очистку окислителями, представляет собой агрегаты алмазных частиц, крепко связанных неалмазными формами углерода [1]. Поверхность этих агрегатов плотно покрыта кислородсодержащими функциональными группами, что упрощает связывание с поверхностью агрегатов ДНА молекул [2] или наночастиц. Это делает возможным его использование в качестве компонента композиционных порошков, в котором он выступал бы носителем наночастиц, придающих порошкам определенные функциональные свойства.

Методом создания таких композиционных порошков может быть термическое разложение лабильных соединений металлов в присутствии ДНА с образованием наночастиц необходимого состава. В частности, данный метод уже ранее был успешно опробован для синтеза и фиксации металлосодержащих наночастиц магнитных и полупроводниковых материалов на поверхности гранул политетрафторэтилена [3 – 7] и оксида кремния [8, 9], а также магнитных наночастиц, имеющих металлическое ядро и оксидную оболочку на поверхности ДНА [10].

Цель данной работы — оценка применимости метода высокотемпературного синтеза наночастиц

оксидов металлов в присутствии ДНА для одностадийного получения композиционных порошков, состоящих из агрегатов ДНА с локализованными на их поверхности наночастицами ZnO или CeO₂.

Экспериментальная часть

Для синтеза наноразмерных частиц ZnO и CeO₂ использовали следующие реактивы: шестиводный нитрат цинка Zn(NO₃)₂·6H₂O (х.ч.), ацетат цинка Zn(CH₃COO)₂ (х.ч.), гексанитроцерат тетраэтиламмония (Et₄N)₂[Ce(NO₃)₆] (х.ч.) ДНА в виде порошка серого цвета с содержанием алмазной фракции 85 масс. %, поставленный ФГУП ФНПЦ “Алтай” (г. Бийск), без дополнительной обработки. Масло марки ВМ-1 предварительно очищали серной кислотой и прогревали до 300 °С для удаления легколетучих фракций.

В четырехгорлую колбу, снабженную капельной воронкой, термометром, холодильником и механической мешалкой, помещали 50 мл масла ВМ-1 и 2 г порошка ДНА. На протяжении всего эксперимента в реакторе поддерживали инертную среду, с помощью тока аргона через колбу с целью создания инертной атмосферы и удаления газообразных продуктов, а реакционную массу подвергали интенсивному перемешиванию. После нагрева реакционной массы

до 280 °С, к ней с постоянной скоростью (25 мл/ч) добавляли водный раствор вышеназванных соединений (концентрация раствора 30 г/л), после чего выдерживали ее при той же температуре еще в течение получаса. После проведения синтеза реакционную массу охлаждали до комнатной температуры в реакторе, продукт очищали и выделяли посредством многократного центрифугирования и разбавления нижнего слоя гексаном. Впоследствии полученные порошки хранили на воздухе.

Размер и морфологию оксидных частиц и структуру полученных порошков определяли на основании ручного анализа микрофотографий, полученных методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) с помощью просвечивающего электронного микроскопа JEOL JEM-1011 при ускоряющем напряжении 100 кВ. Перед проведением микроскопического исследования образцы подвергали ультразвуковому диспергированию в гексане и образовавшуюся дисперсию наносили на углеродную подложку.

Элементный состав композиционных порошков, морфологию и размеры агрегатов определяли методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) с помощью растрового электронного микроскопа JEOL JSM-6380LA (при ускоряющем напряжении 20 кВ), оснащенного рентгеноспектральным анализатором JED-2300.

Для определения фазового состава и оценки размера областей когерентного рассеяния (ОКР) в полученных порошках использовали метод порошковой рентгеновской дифракции. Дифрактограммы записывали на дифрактометре “Дрон-3” (линия Cu $K_{\alpha 1}$, $\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$, графитовый монохроматор), для их анализа использовали базу данных JCPDS PDF2 от 1999 г.

Рентгеновские K - и L_3 -края поглощения были получены в режиме пропускания на EXAFS-спектрометре станции “Структурного материаловедения” в Курчатовском синхротронном центре (г. Москва). Энергия электронного пучка, который использовали в качестве источника рентгеновского синхротронного излучения, составляла 2,5 ГэВ при токе 80 – 100 мА. Для монохроматизации рентгеновского излучения использовали двухкристальный монохроматор Si (111).

Обсуждение результатов

Выделение индивидуальных частиц на микрофотографиях ПЭМ (рис. 1) и разделение их по типам затруднено в силу малой контрастности частиц и их границ, поэтому не представляется возможным достоверно определить их размеры и морфологию. Размер оксидных частиц в образцах по прибли-

зительной оценке составляет 20 – 50 нм для CeO_2 при 17 масс.% CeO_2 в порошке, 15 – 20 нм для ZnO при расчетной концентрации ZnO 10 масс.%, 40 × 70 нм для ZnO при расчетной концентрации ZnO 18 масс.% (вне зависимости от исходного цинксодержащего соединения). Таким образом, можно заключить, что увеличение концентрации оксидов в образце приводит к агрегации наночастиц. Микроскопические исследования не обнаруживают наличия индивидуальных оксидных наночастиц не закрепленных на поверхности ДНА.

Микрофотографии РЭМ полученных образцов (рис. 2) демонстрируют наличие в них агрегатов неправильной формы с широким распределением по размерам (от десятков нм до десяти и более мкм). По форме и размерам данные агрегаты сопоставимы с агрегатами в исходном ДНА.

Спектры локального рентгеновского микроанализа (рис. 3) идентифицируют в образцах углерод, кислород и металл. Фактические концентрации оксидов в композиционных порошках представлены в табл. 1. Образец, содержащий наночастицы CeO_2 был предварительно переведен в гексановую суспензию и разделен на медленно- и быстрооседающие фракции. Показано, что в быстрооседающей фракции концентрация церия ниже, что связано с преобладанием в ней крупных алмазных агрегатов (с меньшей удельной поверхностью), что подтверждают данные РЭМ.

Таблица 1

Содержание элементов и оксидной фазы в образцах $\text{ZnO}/\text{ДНА}$ и $\text{CeO}_2/\text{ДНА}$, по данным рентгеновского спектрального микроанализа

Образец	Содержание, масс. %				
	C	O	Zn	Ce	MO_x^*
10 % $\text{ZnO}/\text{ДНА}$ из $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$	96,45	0,70	2,85	—	3,55
9 % $\text{CeO}_2/\text{ДНА}$, верхняя фракция	95,75	0,79	—	3,46	4,25
9 % $\text{CeO}_2/\text{ДНА}$, нижняя фракция	96,73	0,61	—	2,66	3,27

*Расчетная концентрация MO_x .

На дифрактограмме исходного ДНА присутствуют максимумы относящиеся к алмазу (PDF2 75-0624) и аморфное гало с максимумом при $2\theta = 22^\circ$, относящееся к графитоподобной фазе [11]. На дифрактограммах цинксодержащих образцов (рис. 4б, 4в), помимо вышеназванных рефлексов присутствуют максимумы характерные для оксида цинка (PDF2 80-0075) (рис. 4б, 4в), а для церийсодержащих — оксиду церия (PDF2 81-0792).

Была проведена оценка характерных размеров ОКР h в полученных порошках на основании уши-

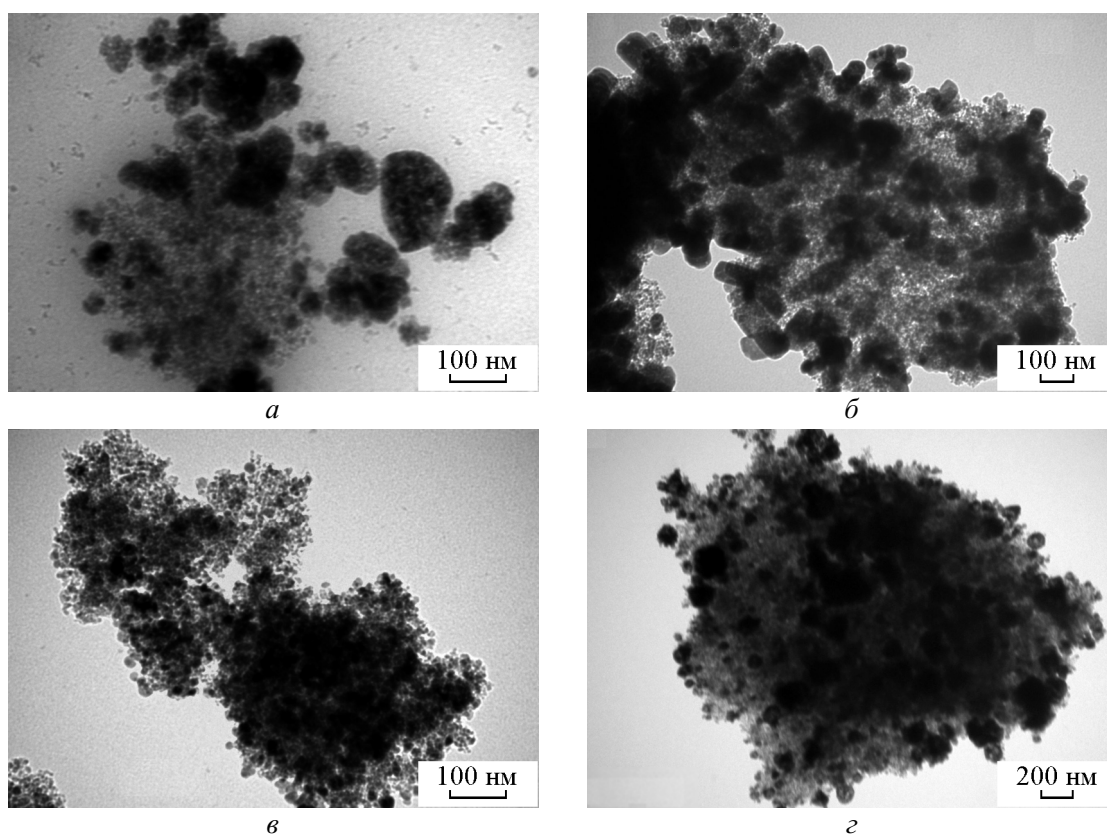


Рис. 1. ПЭМ композиционных порошков: *а* – ZnO/ДНА синтезированных из $Zn(NO_3)_2$, *б, в* – ZnO/ДНА из $Zn(CH_3COO)_2$, *г* – CeO_2 /ДНА.

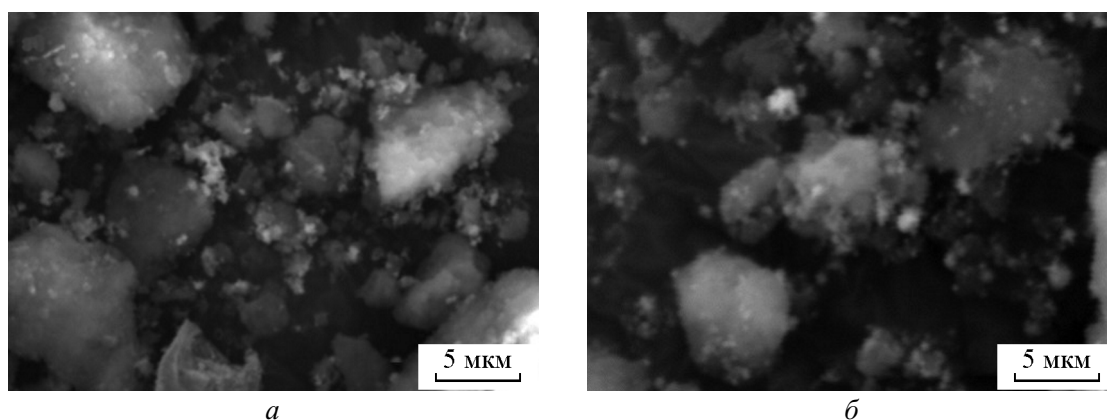


Рис. 2. РЭМ композиционных порошков: *а* – ZnO/ДНА, *б* – CeO_2 /ДНА.

рения рефлексов на дифрактограммах, в соответствии с уравнением Селякова – Шеррера:

$$h = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta},$$

где λ — длина волны, θ — Брэгговский угол, β — полная ширина рефлекса на полувысоте (2θ , рад), k — геометрический коэффициент ($k \approx 1$). В полученных образцах характерный размер ОКР фазы ZnO

составил 10 – 20 нм (вне зависимости от исходного цинксодержащего соединения), а фазы CeO_2 — 5 – 7 нм. Сопоставление этих размеров с оценкой размеров частиц на основании данных ПЭМ позволяет сделать вывод об агрегации первичных наночастиц оксидов, которая усиливается с увеличением металлсодержащей компоненты в образце.

Локальная структура образцов ZnO/ДНА, полученных из $Zn(NO_3)_2$ и из $Zn(CH_3COO)_2$, была

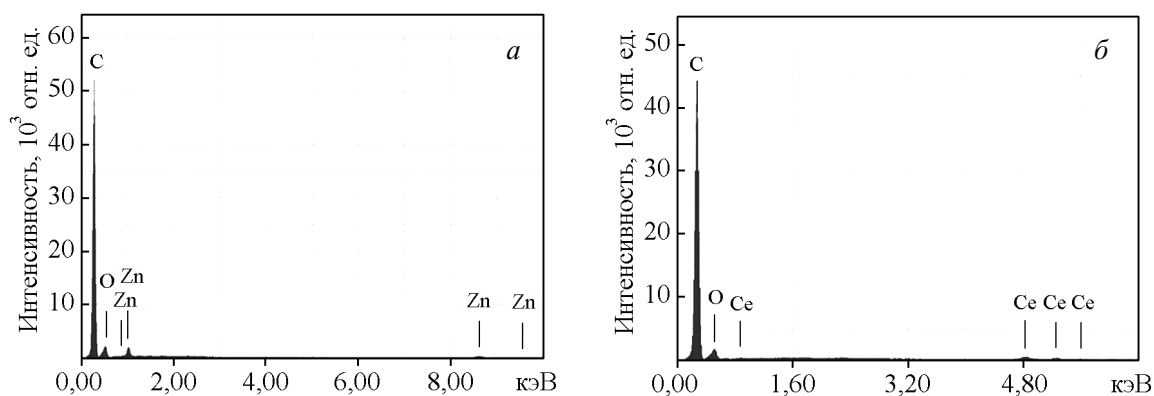


Рис. 3. Рентгеновские энергодисперсионные спектры порошков: *a* – ZnO/ДНА из $Zn(CH_3COO)_2$, *б* – CeO_2 /ДНА.

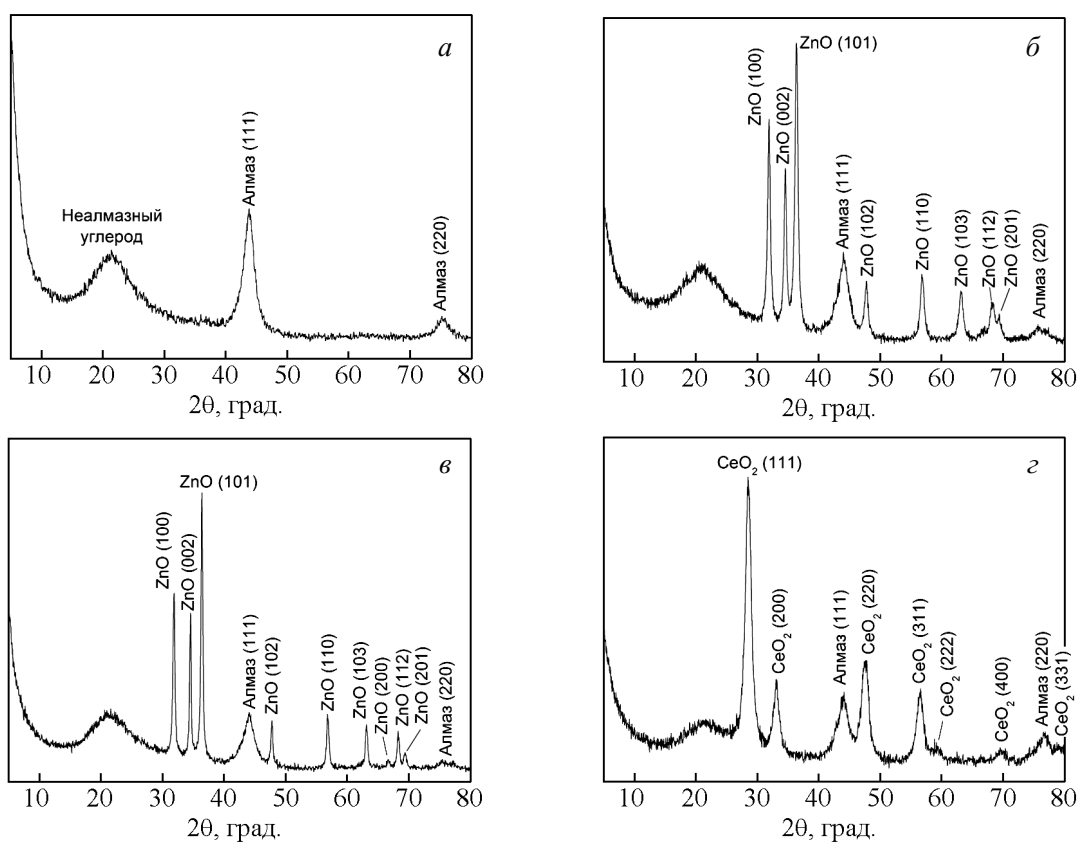


Рис. 4. Рентгеновские дифрактограммы: *a* – детонационного наноалмаза, и образцов: *б* – ZnO/ДНА из $Zn(NO_3)_2$, *в* – ZnO/ДНА из $Zn(CH_3COO)_2$, *z* – CeO_2 /ДНА.

исследована методом рентгеновской спектроскопии поглощения. Ближняя тонкая структура рентгеновского поглощения XANES (X-ray Absorption Near Edge Structure) Zn *K*-краев исследованных образцов совпадают между собой и в деталях совпадают с XANES Zn *K*-края стандарта ZnO. Последующая за XANES область протяженной тонкой структуры EXAFS (Extended X-ray Absorption Fine Structure),

также практически одинакова для всех образцов. Это указывает на близость атомной структуры исследованных цинксодержащих образцов и крупнокристаллического ZnO. Такой вывод подтверждается и результатами анализа модулей Фурье-трансформант (МФТ) EXAFS Zn *K*-краев указанных образцов. Количественные характеристики локального атомного строения приведены в табл. 2, а вид

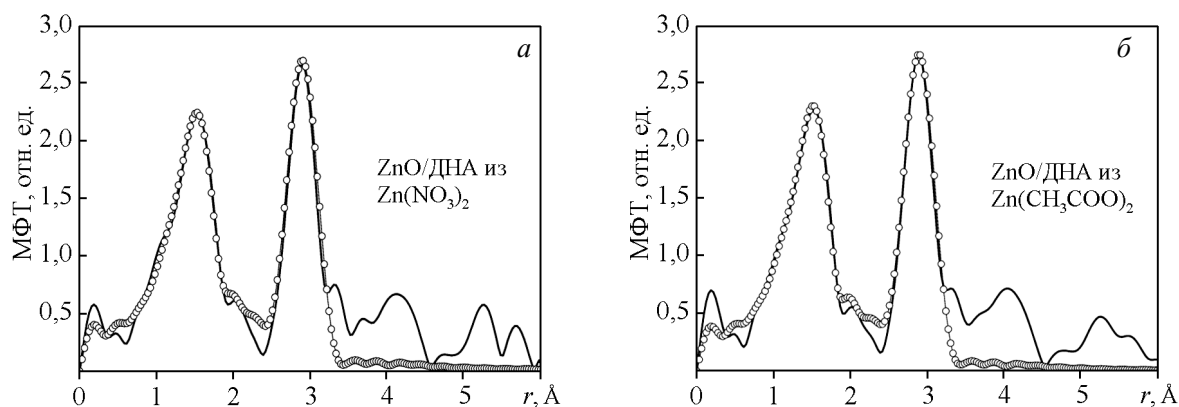


Рис. 5. МФТ EXAFS Zn K-края образца ZnO/ДНА из: а – $Zn(NO_3)_2$, б – $Zn(CH_3COO)_2$.

МФТ — на рис. 5. Как видно из сопоставления на рис. 5, МФТ обоих образцов практически совпадают, и в них проявляются координационные сферы с радиусами более 5 Å, что говорит о наличии дальнего кристаллического порядка в Zn-содержащей фазе и, соответственно, указывает на сравнительно большие размеры частиц ZnO. Количественные характеристики первых двух координационных сфер в исследованных Zn-содержащих образцах приведены в табл. 2 и не сильно различаются как между собой, так и по сравнению с параметрами крупнокристаллического ZnO. Можно лишь отметить, что, при равных радиусах первой координационной сферы, в образце ZnO/ДНА из $Zn(CH_3COO)_2$ координационное число первой сферы несколько ниже, чем в образце ZnO/ДНА из $Zn(NO_3)_2$, при равенстве значений фактора Дебая – Валлера. Подтверждением вывода о наличии дальнего порядка в синтезированных образцах состава ZnO/ДНА могут служить рентгеновские дифрактограммы этих образцов (рис. 4).

Для образца CeO_2 /ДНА были получены рентгеновские спектры поглощения Ce L_3 . На рис. 6а показаны области XANES для стандартного соединения CeO_2 и данного образца. XANES исследованного образца и стандарта имеют очень близкую структуру,

состоящую из двух хорошо разрешенных максимумов поглощения с энергетическим расщеплением в 7 эВ. Интерпретация XANES для CeO_2 хорошо известна [12 – 16]; оба пика соответствуют электронным переходам $2p_{3/2} \rightarrow (4f^1L)5d^*$ и $2p_{3/2} \rightarrow (4f^0L)5d^*$, где L обозначает, что электрон перешел с орбитали $O2p$ на орбиталь $Ce4f$. Такой вид XANES характерен и для других соединений церия со степенью окисления Ce^{+4} . Анализ EXAFS-спектров поглощения Ce L_3 позволил получить количественные значения параметров структуры ближайшего окружения ионов церия. На рис. 6б показаны экспериментальные и теоретически рассчитанные для наилучшей структуры модели модули Фурье-трансформанта (МФТ) EXAFS; в табл. 2 перечислены значения полученных параметров координационных сфер. Из представленных в таблице данных следует, что атомное окружение иона церия Ce^{+4} в образце CeO_2 /ДНА практически не отличается от атомное окружение в кристаллическом CeO_2 .

Таким образом, данные РФА и EXAFS не выявляют химического связывания между оксидными частицами и агрегатами ДНА. Агрегация первичных оксидных наночастиц, усиливающаяся при повышении их концентрации в образце указывает на

Таблица 2

Параметры локальной атомной структуры атомов цинка и церия в синтезированных композиционных порошках, найденные посредством многосферной подгонки данных EXAFS Ce L_3 -края поглощения*

Образец	Координационное число, N	Межатомные расстояния, R , Å	Фактор Дебая – Валлера, σ^2	Атомы КС	Функция качества подгонки Q , %
ZnO/ДНА из $Zn(NO_3)_2$	3,8	1,96	0,007	O	16,8
ZnO/ДНА из $Zn(CH_3COO)_2$	12	3,21	0,0011	Zn	
ZnO/ДНА из $Zn(NO_3)_2$	3,7	1,95	0,007	O	16,4
ZnO/ДНА из $Zn(CH_3COO)_2$	12	3,22	0,0010	Zn	
CeO_2 /ДНА	4	2,30	0,0040	O	9,8
	10	3,78	0,0063	Ce	9,8
	3	4,45	0,0040	O	9,8

*Подгонку проводили в интервале $r = 1,22 - 4,20$ Å с использованием оконной функции Ханна.

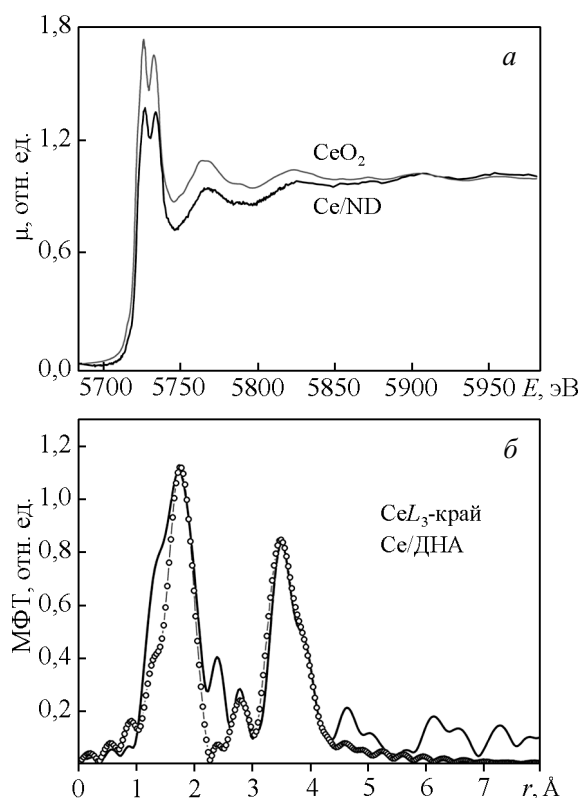


Рис. 6. XANES (а) и МФТ EXAFS (б) $Ce L_3$ -края CeO_2 и композиционного порошка $CeO_2/ДНА$.

слабое сродство наночастиц ZnO и CeO_2 к поверхности ДНА. Тем не менее, отсутствие индивидуальных оксидных наночастиц на микрофотографиях говорит о том, что связывание наночастиц оксида металла с ДНА достаточно сильное, что позволяет выдержать ультразвуковое диспергирование образца в растворе, осуществляемое при его подготовке к микроскопическому исследованию. Это не противоречит наблюдаемому уменьшению концентрации оксидов в быстрооседающей фракции, так как удельная поверхность углеродного носителя в ней ниже.

Выводы

Метод термического разложения металлосодержащих соединений позволяет получать композиционные порошки состава $ZnO/ДНА$ и $CeO_2/ДНА$, в которых частицы оксидов локализованы на поверхности агрегатов ДНА. Характерные размеры ОКР оксидной фазы в случае порошков $ZnO/ДНА$ составляют около 20 нм, в случае $CeO_2/ДНА$ — около 7 нм.

Увеличение концентрации оксида в композиционном порошке не оказывает влияния на размеры ОКР оксидной фазы при тех же условиях синтеза, но приводит к увеличению размера оксидных нано-

частиц, что говорит об образовании изначально обособленных кристаллитов с последующим ростом частиц оксида при их агрегации.

Агрегация первичных оксидных наночастиц при повышении их концентрации в композите указывает на их более высокое сродство друг к другу, чем к поверхности ДНА.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 13-03-00922_а.

Литература

- Shenderova O.A., Zhirnov V.V., Brenner D.W. Carbon Nanostructures. Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences, 2002, v. 27, no. 3/4, p. 227 – 356.
- Li L., Davidson J. L., Lukehart C. M. Surface functionalization of nanodiamond particles via atom transfer radical polymerization. Carbon, 2006, v. 44, no. 11, p. 2308 – 2315.
- Yurkov G.Y., Baranov D.A., Dotsenko I.P., Gubin S.P. New magnetic materials based on cobalt and iron-containing nanoparticles. Composites Part B: Engineering, 2006, т. 37, № 6, с. 413 – 417.
- Ушаков Н.М., Юрков Г.Ю., Записис К.В., Баранов Д.А., Катаева Н.А., Кособудский И.Д., Губин С.П. Оптические свойства наночастиц сульфида кадмия на поверхности наногранул политетрафторэтилена. Оптика и спектроскопия, 2006, т. 100, № 3, с. 459 – 464.
- Юрков Г.Ю., Бузник В.М., Шишилов О.Н., Большух Ю.Н., Кузнецова В.Ю., Кособудский И.Д. Синтез и структура композиционных материалов на основе гранул ультрадисперсного политетрафторэтилена и наночастиц меди. Все материалы. Энциклопедический справочник, 2012, № 1, с. 2 – 8.
- Yurkov G.Y., Buznik V.M., Kondrashov S.V., Bogatov V.A., Chursova L.V., Biryukova M.I., Mikheev M.G. Magnetic composites based on ultrafine polytetrafluoroethylene and cobalt containing nanoparticles. Polymer Science. Series D, 2013, v. 6, no. 3, p. 232 – 237.
- Таратанов Н.А., Юрков Г.Ю., Кокшаров Ю.А., Бузник В.М. Получение и свойства композиционных материалов на основе ренийсодержащих наночастиц и микрогранул политетрафторэтилена. Перспективные материалы, 2010, № 5, с. 24 – 30.
- Юрков Г.Ю., Попков О.В., Кокшаров Ю.А., Баранов Д.А., Губин С.П. Железосодержащие наночастицы на поверхности микрогранул оксида кремния. Неорганические материалы, 2006, т. 42, № 8, с. 970 – 975.
- Юрков Г.Ю., Козинкин А.В., Кокшаров Ю.А., Овченков Е.А., Волков А.Н., Козинкин Ю.А., Власенко В.Г., Попков О.В., Ивичева С.Н., Каргин Ю.Ф. Композиты на основе микрогранул SiO_2 и кобальтсодержащих наночастиц: синтез, структура и магнитные свойства. Журнал физической химии, 2013, т. 87, № 5, с. 849 – 856.
- Popkov O.V., Yurkov G.Yu., Ovchenkov Ye.A., Koksharov Yu.A., Matveev V.V., Bouznic V.M. Synthesis

- and magnetic properties of nanodiamond aggregates decorated by cobalt-containing nanoparticles. Reviews on Advanced Materials Science, 2012, v. 32, no. 1, p. 7–11.
11. Qiao Z., Li J., Zhao N. et al. Graphitization and microstructure transformation of nanodiamond to onion-like carbon. Scripta Materialia, 2006, v. 54, no. 2, p. 225–229.
 12. Hu Z., Bertram S., Kaindl G. X-ray absorption study of PrO₂ at high-pressure. Phys. Rev. B, 1994, v. 49, p. 39–43.
 13. Bianconi A., Marcelli A., Dexpert H. et al. Specific intermediate-valence state of insulating 4f-compounds detected by L₃ X-ray absorption. Phys. Rev. B, 1987, v. 35, p. 806–812.
 14. Soldatov A.V., Ivanchenko T.S., Della Longa S. et al. Crystal-structure effects in the Ce L₃-edge X-ray absorption spectrum of CeO₂ — multiple scattering resonances and many-body final-states. Phys. Rev. B, 1994, v. 50, p. 5074–5080.
 15. Kaindl G., Schmiester G., Sampathkumaran E.V., Wachter P. Pressure-induced changes in LIII X-ray absorption near-edge structure of CeO₂ and CeF₄ — relevance to 4f-electronic structure. Phys. Rev. B, 1988, v. 38, p. 10174–10177.
 16. Takahashi Y., Sakami H., Nomura M. Determination of the oxidation state of cerium in rocks by Ce L-III-edge X-ray absorption near-edge structure spectroscopy. Analytica Chimica Acta, 2002, v. 468, p. 345–354.
- composites based on ultrafine polytetrafluoroethylene and cobalt containing nanoparticles. Polymer Science. Series D, 2013, vol. 6, no. 3, pp. 232–237.
7. Taratanov N.A., Yurkov G.Yu., Koksharov Yu.A., Buznik V.M. Poluchenie i svoystva kompozitsionnykh materialov na osnove reniysoderzhaschih nanochastits i mikrogranul politetraforetilena [Obtaining and properties of composite materials based on rhenium content nanoparticles and PTFE micro-granules]. Perspektivnyye materialy — Advanced materials (in Rus), 2010, no. 5, pp. 24–30.
 8. Yurkov G.Yu., Popkov O.V., Koksharov Yu.A., Baranov D.A., Gubin S.P. Zhelezosoderzhaschie nanochastitsyi na poverhnosti mikrogranul oksida kremniya [Iron content nanoparticles on silicon oxide micro-granules surface]. Neorganicheskie materialy — Inorganic materials, 2006, vol. 42, no. 8, pp. 970–975.
 9. Yurkov G.Yu., Kozinkin A.V., Koksharov Yu.A., Ovchenkov E.A., Volkov A.N., Kozinkin Yu.A., Vlasenko V.G., Popkov O.V., Ivicheva S.N., Kargin Yu.F. Kompozity na osnove mikrogranul SiO₂ i kobaltsoderzhaschih nanochastich: sintez, struktura i magnitnye svoystva [Composites based SiO₂ on microgranules and cobalt nanoparticles: synthesis, structure and magnetic properties]. Zhurnal fizicheskoy khimii — Russian Journal of Physical Chemistry A, 2013, vol. 87, no. 5, pp. 849–856.
 10. Popkov O.V., Yurkov G.Yu., Ovchenkov Ye.A., Koksharov Yu.A., Matveev V.V., Bouznik V.M. Synthesis and magnetic properties of nanodiamond aggregates decorated by cobalt-containing nanoparticles. Reviews on Advanced Materials Science, 2012, vol. 32, no. 1, pp. 7–11.
 11. Qiao Z., Li J., Zhao N. et al. Graphitization and microstructure transformation of nanodiamond to onion-like carbon. Scripta Materialia, 2006, vol. 54, no. 2, pp. 225–229.
 12. Hu Z., Bertram S., Kaindl G. X-ray absorption study of PrO₂ at high-pressure. Phys. Rev. B. 1994, vol. 49, pp. 39–43.
 13. Bianconi A., Marcelli A., Dexpert H. et al. Specific intermediate-valence state of insulating 4f-compounds detected by L₃ X-ray absorption. Phys. Rev. B, 1987, vol. 35, pp. 806–812.
 14. Soldatov A. V., Ivanchenko T. S., Della Longa S. et al. Crystal-structure effects in the Ce L₃-edge X-ray absorption spectrum of CeO₂ — multiple scattering resonances and many-body final-states. Phys. Rev. B, 1994, vol. 50, pp. 5074–5080.
 15. Kaindl G., Schmiester G., Sampathkumaran E. V., Wachter P. Pressure-induced changes in LIII X-ray absorption near-edge structure of CeO₂ and CeF₄ — relevance to 4f-electronic structure. Phys. Rev. B, 1988, vol. 38, pp. 10174–10177.
 16. Takahashi Y., Sakami H., Nomura M. Determination of the oxidation state of cerium in rocks by Ce L-III-edge X-ray absorption near-edge structure spectroscopy. Analytica Chimica Acta, 2002, vol. 468, pp. 345–354.

References

1. Shenderova O.A., Zhirnov V.V., Brenner D.W. Carbon Nanostructures. Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences. 2002, vol. 27, no. 3/4, pp. 227–356.
2. Li L., Davidson J.L., Lukehart C.M. Surface functionalization of nanodiamond particles via atom transfer radical polymerization. Carbon, 2006, vol. 44, no. 11, pp. 2308–2315.
3. Yurkov G.Y., Baranov D.A., Dotsenko I.P., Gubin S.P. New magnetic materials based on cobalt and iron-containing nanoparticles. Composites Part B: Engineering. 2006, vol. 37, no. 6, pp. 413–417.
4. Ushakov N.M. Yurkov G. Yu., Sepsis K.V., Baranov D.A., Kataeva N.A., Kosobucki I.D., Gubin S.P. Opticheskiye svoystva nanochastits sulfida kadmiya na poverhnosti nanogranul politetraforetilena [Optical properties of cadmium sulphide nanoparticles of PTFE surface]. Optika i spektroskopia — Optics and spectroscopy, 2006, vol. 100, no. 3, pp. 459–464.
5. Yurkov G.Yu., Buznik V.M., Shishilov O.N., Bolbuh Yu.N., Kuznecova V.Yu., Kosobudskiy I.D. Sintez i struktura kompozitsionnykh materialov na osnove granul ultradispersnogo politetraforetilena i nanochastich medi [Synthesis and structure of composite materials based on ultra-fine PTFE particles and copper nanoparticles]. Vse materialy. Enciklopedicheskij spravochnik — All materials. Encyclopedic handbook, 2012, no. 1, pp. 2–8.
6. Yurkov G.Y., Buznik V.M., Kondrashov S.V., Bogatov V.A., Chursova L.V., Biryukova M.I., Mikheev M.G. Magnetic

Статья поступила в редакцию 15.07.2015 г.

Попков Олег Владимирович — Федеральное государственное унитарное предприятие “Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов” (г. Москва 105005, ул. Радио, д. 17), кандидат химических наук, старший научный сотрудник, специалист в области композиционных материалов. E-mail: oleg.popkov@gmail.com.

Бирюкова Марина Игоревна — Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН (г. Москва 119991 ГСП-1, Ленинский проспект, 49), аспирант, младший научный сотрудник, специалист в области синтеза нанокмпозитов. E-mail: marino4ска@yandex.ru

Юрков Глеб Юрьевич — Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН (г. Москва 119991 ГСП-1, Ленинский проспект, 49), Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (г. Москва 105005, ул. Радио, д. 17), доктор технических наук, ведущий научный сотрудник ИМЕТ РАН, главный научный сотрудник ФГУП “ВИАМ”, специалист в области создания и изучения композиционных наноматериалов. E-mail: gy_yurkov@mail.ru.

Кондрашов Станислав Владимирович — Федеральное государственное унитарное предприятие “Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов” (г. Москва 105005, ул. Радио, д. 17), кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, специалист в области нанотехнологий. E-mail: stasru_59@mail.ru.

Metal-carbon composite materials based on detonation nanodiamond and ZnO or CeO₂ nanoparticles

O. V. Popkov, M. I. Biryukova, G. Yu. Yurkov, S. V. Kondrashov

Composite powders consisting of ZnO or CeO₂ nanoparticles located on the surface of detonation nanodiamond (DND) aggregates have been prepared by means of thermal decomposition. The powders were studied for their structure and phase composition. The oxide nanoparticles were found to have low affinity to the surface of DND aggregates; in particular, the actual nanoparticles concentration is smaller compared to the estimated one, and their average size increases along with concentration. Nevertheless, the powders were found to have some binding between the oxide nanoparticles and DND surface.

Keywords: composite powder, detonation nanodiamond, zinc oxide, cerium oxide.

Popkov Oleg — All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials (VIAM, Moscow, 17, Radio st.), PhD (chem.), senior research associate, specialist in composite materials. E-mail: oleg.popkov@gmail.com.

Biryukova Marina — A.A. Baikov Institute of Metallurgy and Material Science of the Russian Academy of Sciences (IMET RAS, 119991, Moscow, Leninsky 49), specialist in the field of composite materials synthesis.

Yurkov Gleb — A.A. Baikov Institute of Metallurgy and Material Science of the Russian Academy of Sciences (IMET RAS, 119991, Moscow, Leninsky 49), All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials (VIAM, Moscow, 17, Radio st), Dr.Sci. (eng), leading research associate of IMET RAS, chief research associate of VIAM, specialist in the field of composite nanomaterials research. E-mail: gy_yurkov@mail.ru.

Kondrashov Stanislav — All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials (VIAM, Moscow, 17 Radio st). PhD (phys-math), leading research associate, specialist in the field of nanotechnology. E-mail: stasru_59@mail.ru.