

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №18-19-00136).

### Список литературы

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. *Дисперсионное ядерное топливо*, М.: Техносфера, 2015.– 248 с.
2. Ivan Yu. Novoselov, Alexander G. Karengin, Renat G. Babaev. *Simulation of Uranium and Plutonium Oxides Compounds Obtained in Plasma // AIP Conference Proceedings, 2018.– V.1938.– Article number 020016.– P.1–5.*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА НАНОРАЗМЕРНЫХ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ УРАНОВОГО ДИСПЕРСИОННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Е.Э. Зотов, К.С. Иванов, А.А. Каренгин

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Каренгин А.Г.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, karengin@tpu.ru*

Применяемое в реакторах на тепловых нейтронах керамическое ядерное топливо (ЯТ) из диоксида урана, обогащенного по изотопу уран-235, имеет ряд существенных недостатков: низкая теплопроводность, высокая хрупкость и склонность к растрескиванию, короткий цикл использования и ограниченный ресурс изотопа уран-235. Поэтому перспективным является создание уранового дисперсионного ЯТ из диоксида урана равномерно распределенного в матрице с высокой теплопроводностью и низким сечением резонансного поглощения тепловых нейтронов [1].

Традиционные технологии раздельного получения и механического смешения оксидов металлов приводят к удорожанию технологии получения дисперсионного ЯТ. При этом плазменная переработка смешанных водно-органических нитратных растворов металлов (ВОНР) для синтеза топливных оксидных композиций (ОК) имеет следующие достоинства: одностадийность и высокая скорость процесса, однородное распределение фаз с заданным стехиометрическим составом, возможность активно влиять на размер и морфологию частиц, низкие энергозатраты [2].

Экспериментальные исследования процесса синтеза топливных ОК в воздушно-плазменном потоке проводились на лабораторном стенде «Плазменный модуль на базе высокочастотного

генератора ВЧГ8-60/13-01» на модельных растворах ВОНР, включающих органический компонент (ацетон) и смешанные водные нитратные растворы магния и неодима, имеющего близкие свойства с делящимся металлом (уран), и моделирующих плазмохимический синтез оксидных композиций «UO<sub>2</sub>-MgO».

Подготовленные растворы ВОНР подавались с постоянным расходом (300 л/ч) в диспергатор и далее поступали в реактор, где в воздушно-плазменном потоке осуществлялся синтез модельных ОК при температуре  $T_p \geq 1000^\circ\text{C}$ . Контроль температуры осуществлялся высокоточным цифровым инфракрасным пирометром (IPE 140/45) по линии поглощения диоксида углерода. После реактора полученные ОК поступали в узел «мокрой» очистки (УМО), где происходило их резкое охлаждение (закалка) с получением водных суспензий, которые отстаивали, полученные осадки отделяли, фильтровали и прокаливали в течение 20 минут при температуре  $150^\circ\text{C}$ . В результате проведенных исследований установлены закономерности влияния состава растворов ВОНР, режимов их диспергирования, а также скорости закалки на физико-химические свойства ОК (размер и морфология частиц, гранулометрический и фазовый состав, удельная поверхность).

Показано, что при постоянном расходе воды на закалку (2,8 кг/с) и частоте диспергатора

(35 Гц) увеличение содержания нитрата неодима шестиводного с 300 г/л до 1000 г/л в растворах ВОНР и нитрата магния шестиводного с 300 г/л до 700 г/л приводит к увеличению размера ОК после УМО соответственно с 7,8 мкм до 8,7 мкм и с 9,5 мкм до 13,2 мкм (метод лазерной дифракции). При этом, снижение расхода воды на закалку ОК с 2,8 кг/с до 2,3 кг/с приводит к увеличению размера ОК.

Увеличение массовой доли матрицы (MgO) от 5% до 50% в составе ОК «Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO» приводит при расходе воды на закалку ОК (2,8 кг/с) и частоте диспергатора (35 Гц) к увеличению размера ОК после УМО с 13,0 мкм до 4,7 мкм (метод лазерной дифракции). При этом удель-

ная поверхность ОК и размер частиц (зерен) лежит соответственно в пределах 53–123 нм и 11,2–15,2 м<sup>2</sup>/г (БЭТ-анализ).

Это позволяет утверждать, что плазменная диспергированных растворов ВОНР в воздушно-плазменном потоке приводит к плазмохимическому синтезу наноразмерных простых и сложных оксидов металлов.

Результаты исследований могут быть использованы при создании технологии плазмохимического синтеза наноразмерных топливных оксидных композиций для уран-ториевого ДЯТ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №18-19-00136).

### Список литературы

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. *Дисперсионное ядерное топливо, М.: Техносфера, 2015.*– 248 с.
2. Ivan Yu. Novoselov, Alexander G. Karengin, Renat G. Babaev. *Simulation of Uranium and Plutonium Oxides Compounds Obtained in Plasma // AIP Conference Proceedings, 2018.*– V.1938.– Article number 020016.– P.1–5.

## ОСОБЕННОСТИ ОКИСЛЕНИЯ ВОДОЙ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ Al/Ag

С.О. Казанцев

Научный руководитель – к.х.н. А.С. Ложкомоев

*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН  
634055, г. Томск, пр. Академический 2/4, kzso@ispms.tsc.ru*

В настоящее время исследователи активно разрабатывают композитные наночастицы, которые могут состоять из двух, трех и более компонентов. Комбинирование различных наноматериалов позволяет получить композиты, обладающие отличительными физико-химическими, оптическими, биологическими и другими свойствами. Одним из перспективных материалов для биомедицинских применений является наноструктурный оксид алюминия, модифицированный частицами серебра [1], который можно получить окислением электровзрывных биметаллических наночастиц Al/Ag в воде. В предыдущих работах нами было показано, что при окислении электровзрывного нанопрошка Al формируется наноструктурный оксид алюминия с высокой величиной удельной площади поверхности и высокими адсорбционными свойствами. Такой оксид может использоваться в качестве матрицы для иммобилизации антимикробных агентов [2], в том числе наночастиц серебра, яв-

ляющихся хорошо изученными и высоко эффективными антимикробными агентами [3].

В нашей работе были исследованы закономерности окисления водой биметаллических наночастиц Al/Ag с массовым соотношением компонентов 76/24, соответственно. Для исследования влияния условий окисления на физико-химические характеристики окисления биметаллических наночастиц проводили в воде с нагреванием до 60 °С, в гидротермальных условиях (ГТО) при температуре 200 °С и во влажном воздухе при относительной влажности воздуха 80% и температуре 60 °С.

Окисление биметаллических наночастиц Al/Ag в воде (рис. 1а) приводит к формированию пористых нанолитов плохо окристаллизованного бемита с размером листов до 300 нм и толщиной 2–5 нм. Полученные нанолиты собраны в агломераты размером 0,5–2 мкм. Наночастицы серебра преимущественно расположены внутри агломератов нанолитов. Их размер