

**ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ПРОДУКТА НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ В
КИСЛОРОДНОЙ АТМОСФЕРЕ КАМЕРЫ-РЕАКТОРА**

А.И. Циммерман, Ю.Л. Шаненкова, М.И. Гуков

Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.А. Сивков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: alexsimmer@yandex.ru

**PLASMODYNAMIC SYNTHESIS OF PRODUCT BASED ON ALUMINUM IN THE OXYGEN
ATMOSPHERE OF A REACTOR-CHAMBER**

A.I. Tsimmerman, Yu.L. Shanenkova, M.I. Gukov

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.A. Sivkov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: alexsimmer@yandex.ru

***Abstract.** In this paper, the possibility is shown to synthesize oxide aluminum using a high-speed electro discharge plasma jet. The synthesized products were characterized by X-Ray diffractometry and transmission electron microscopy.*

Введение. В последние годы интерес к наноматериалам увеличивается из-за их широкого диапазона областей применения. Перспективы использования таких материалов связаны с их уникальными свойствами в ультрадисперсном состоянии. Например, таким материалом является оксид алюминия, область применения которого включает медицину, оптику, лазерную технику и др. Применение Al_2O_3 в данных областях объясняется набором таких свойств, как высокая механическая прочность, износостойкость, высокое электросопротивление, а также химическая стойкость [1]. В настоящее время соединения на основе системы алюминий-кислород получают различными методами, например, методом электрического взрыва проводников, лазерным или газофазным методами [2, 3]. Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки, к главным недостаткам относятся сложность процесса и его многостадийность.

Экспериментальная часть. Метод плазмодинамического синтеза на основе импульсного сильноточного коаксиального магнитоплазменного ускорителя эрозионного типа (рисунок 1а) является альтернативным для получения продукта на основе алюминия. Основными преимуществами данного метода являются: быстрдействие, простота получения и экологичность технологии. Простота метода заключается в использовании в качестве ствола трубы из алюминиевого сплава, в составе которой около 5% магния, и при закачке в камеру-реактор газообразного прекурсора – кислорода, возможно получение уникальных фаз оксида алюминия. Синтез Al_2O_3 осуществлялся за счет эрозии Al ствола. При протекании дуги по ускорительному каналу происходит наработка основного материала – алюминия, после чего он выносится в камеру, где вступает в плазмохимическую реакцию с кислородом, образуя требуемый продукт. В работе [4] определены оптимальные процентные содержания кислорода и аргона – поэтому в данной работе использовалось соотношение газов рабочей среды O:Ar как 80:20 % соответственно. Синтезированный таким образом продукт анализировался следующими методами:

методом рентгеновской дифрактометрии (дифрактометр Shimadzu XRD 7000S) и методом просвечивающей электронной микроскопии (микроскоп Philips CM 12).

Результаты. На рисунке 1б представлены типичные осциллограммы напряжения, тока мощности и накопленной энергии, полученные при $C = 14,4$ мФ, $U_{3AP} = 2,1$ кВ, накопленная энергия $W_c = 31,752$ кДж, атмосферное давление в камере-реакторе $p = 1$ атм. Из осциллограмм видно, что процесс длится примерно 500 мкс, амплитудные значения тока $I_m = 113$ кА, действующее значение напряжения – $U_d = 0,73$ кВ. Электрическая мощность, развиваемая ускорителем, находится из выражения: $P(t) = U(t) \cdot i(t)$, таким образом, максимальная мощность ускорителя составляет 84 МВт, а выделившаяся энергия составила 19,2 кДж.

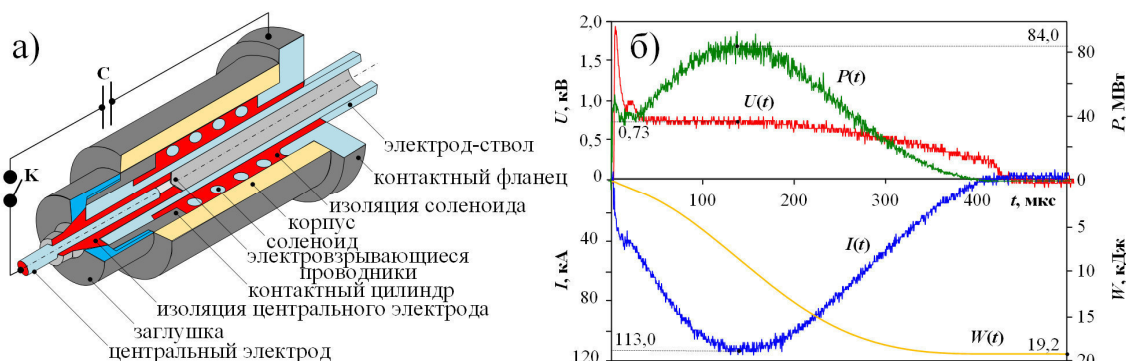


Рис. 1. а) Схема коаксиального магнетоплазменного ускорителя; б) Типичные осциллограммы напряжения $U(t)$, тока $I(t)$, мощности $P(t)$ и накопленной энергии $W(t)$

Расшифровка XRD-картины (рисунок 2) проведена с помощью программы Search-Match и базы структурных данных PDF2. В результате расшифровки были идентифицированы следующие фазы: нестехиометричный оксид алюминия $Al_{2,667}O_4$ (номер карточки: №80–1385; модификация: cubic; пространственная группа: Fd–3m (no. 227); параметры решетки: $a=7,94$ Å), шпинель $MgAl_2O_4$ (номер карточки: №72–6955; модификация: cubic; пространственная группа: Fd–3m (no. 227); параметры решетки: $a=7,96$ Å) и алюминий Al (номер карточки: №85–1327; модификация: cubic; пространственная группа: Fm–3m (no. 225); параметры решетки: $a=4,04940$ Å). Результаты показали, что удалось получить материал, состоящий на 70% из оксида алюминия и на 28% из шпинели, а отражения фазы алюминия можно отметить на уровне следов – 2%. Образование шпинели в данной системе обусловлено, наличием магния в фазовом составе трубы, используемой в опытах. Однако этот факт не является недостатком, ввиду того, что присутствие $MgAl_2O_4$ положительно влияет на создание керамики на основе оксида алюминия [1].

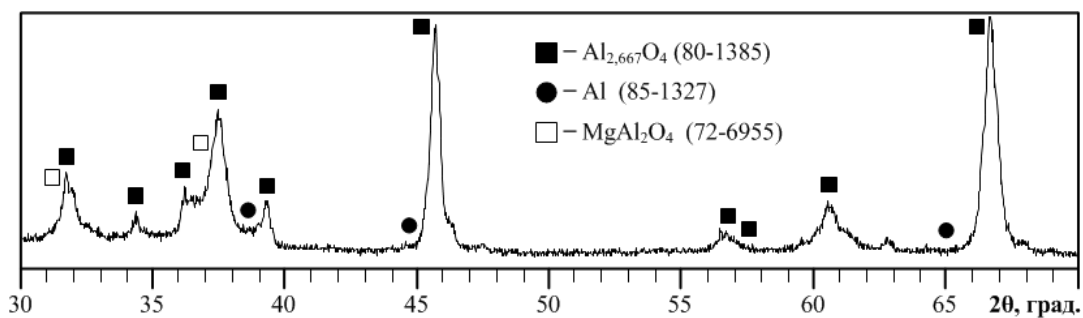


Рис.2. Рентгеновская дифрактограмма полученного продукта плазмодинамического синтеза

Результаты рентгеноструктурного анализа полученного материала подтверждаются данными просвечивающей электронной микроскопии. На рисунке 3 представлены светлопольный и темнопольные снимки, а также электронная микродифракция с представленного скопления. Большая часть продукта имеет сферическую форму, однако при более детальном рассмотрении частиц в светлом поле, а также в соответствующих темных полях, стоит заметить вполне различимую ограненность. Средний размер частиц в продукте варьируется от 50 нм до 200 нм. Электронная дифракция с выделенной области имеет точно-кольцевой характер, и ее расшифровка позволяет подтвердить синтез указанных выше фаз.

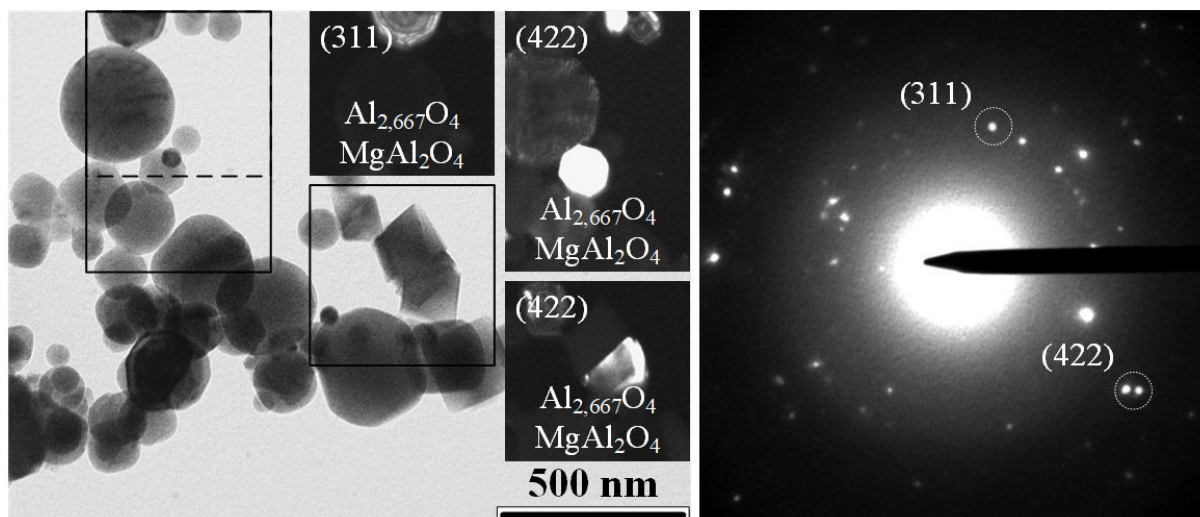


Рис. 3. ТЕМ – снимки синтезированного материала

Выводы. В работе была экспериментально доказана возможность получения оксида алюминия в системе, основанной на использовании импульсного сильноточного коаксиального магнитоплазменного ускорителя. Определено, что процентное содержание фазы Al_2O_3 составило 70%. В дальнейшем планируется увеличить чистоту выхода продукта и использование данного материала для получения объемных керамических образцов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ma B. et al. Preparation and properties of Al_2O_3 - MgAl_2O_4 ceramic foams // *Ceramics International*. – 2015. – Т. 41. – №. 2. – С. 3237-3244.
2. Котов Ю.А., Иванов В.В. Порошковые нанотехнологии для создания функциональных материалов и устройств электрохимической энергетики // *Вестник Российской академии наук*. – 2008. – Т. 78. – № 9. – С. 777-787.
3. Светличный В.А., Стадниченко А.И., Лапин И.Н. Получение наночастиц γ - $\text{Al}(\text{OH})_3$ и γ - Al_2O_3 методом импульсной лазерной абляции металлического алюминия в воде // *Известия высших учебных заведений. Физика*. – 2017. – Т. 60. – № 2. – С. 157-158.
4. Циммерман А.И., Шаненкова Ю.Л., Гуков М.И. Влияние концентрации кислорода на фазовый состав продукта плазмодинамического синтеза // *Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XIV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*. – Томск, 2017. – Т. 2. – С. 241-243.