

УДК 661.872.2

DOI: 10.17223/00213411/62/6/72

А.А. СИВКОВ<sup>1</sup>, И.И. ШАНЕНКОВ<sup>1</sup>, А.С. ИВАШУТЕНКО<sup>1</sup>, М.И. ГУКОВ<sup>1</sup>, Л. ЛИ<sup>2</sup>, Г. ЛИ<sup>2</sup>, В. ХАНЬ<sup>2</sup>

## ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ДИСПЕРСНЫХ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА В МНОГОИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ КОАКСИАЛЬНОГО МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ\*

Показана возможность реализации многоимпульсного режима работы системы плазмодинамического синтеза на основе коаксиального магнитоплазменного ускорителя для получения порошков оксида железа с высоким содержанием фазы  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Установлено, что реализация такого режима работы позволяет существенно снизить амплитудные величины электроразрядного тока и максимальной мощности разряда в единичном импульсе электропитания, что положительно сказывается на уменьшении электродинамических нагрузок в системе. При этом установлена зависимость увеличения выхода фазы  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (вплоть до ~ 70 мас. %) от числа последовательных импульсов электропитания. Проведенные оптимизационные исследования позволили определить наиболее благоприятные условия работы с точки зрения увеличения срока эффективной работы системы и сохранения фазового состава продукта синтеза.

**Ключевые слова:** плазмодинамический синтез, электроразрядная плазма, коаксиальный магнитоплазменный ускоритель, многоимпульсный режим работы, оксиды железа.

### Введение

Синтез дисперсных оксидов железа представляет собой активно развивающееся направление из-за широких областей возможного применения данных материалов [1–5]. Наиболее перспективными являлись высокомагнитные фазы магнетита (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) и маггемита ( $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) кубической кристаллической сингонии [6–8]. Тем не менее последние 20 лет большое внимание также уделяется редкой эпсилон-фазе оксида железа ( $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), которая, согласно имеющимся данным, обладает огромной коэрцитивной силой и ферромагнитным резонансом в миллиметровом диапазоне длин волн [9, 10]. Возможность существования только в наноразмерном состоянии и фазовый переход в гематит ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) при температуре ~ 750 °С делают затруднительным синтез  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> большинством известных методов [11], что значительно ограничивает перспективы внедрения данного материала.

Ранее было показано, что в системе на основе коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ) эрозионного типа с железными электродами возможно осуществить синтез и получение  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на уровне 65 мас. % в результате реакции между железосодержащей электроразрядной плазмой и кислородсодержащей атмосферой при нормальных условиях [12]. Установлено, что образование дисперсных частиц эпсилон-фазы происходит при «смывании» эродированного материала электродов с поверхности фронта головной ударной волны и последующей его кристаллизации. Отмечается, что наиболее благоприятными являются условия с повышенной энергетикой процесса, характеризующиеся протеканием импульсного электроразрядного тока большой амплитуды (свыше 200 кА). Такой режим работы негативно сказывается на устойчивости системы в целом и может привести к аварийным ситуациям из-за чрезмерно больших динамических усилий, возникающих во всех узлах конструкции. С целью ограничения возникающих электродинамических нагрузок и сохранения высокого выхода  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> рассмотрен многоимпульсный режим работы КМПУ при пониженных энергетических параметрах системы.

### Экспериментальная часть

Система плазмодинамического синтеза (ПДС) принципиально состоит из трех основных элементов: емкостного накопителя энергии (ЕНЭ), КМПУ с железными электродами (электрод-ствол: 1/2" труба марки Ст. 3, длина – 220 мм) [13], оснащенного регистрирующей аппаратурой (трансформатор Роговского и омический делитель напряжения) и рабочей камеры-реактора, где непосредственно протекает плазмохимическая реакция (рис. 1). Секционированное исполнение ЕНЭ

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-42-703007).

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала  
**«Известия высших учебных заведений. Физика»**  
осуществляется на платформе  
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU  
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>