

Исследование процессов испарения и ионизации оксида церия в диффузной вакуумной дуге для задач плазменной сепарации ОЯТ

*Р.Х. Амиров¹, Н.А. Ворона^{1,2}, А.В. Гавриков^{1,2}, Г.Д. Лизякин¹, В.П. Полищук¹,
И.С. Самойлов¹, В.П. Смирнов¹, Р.А. Усманов^{1,2}, И.М. Ярцев¹*

¹Объединенный институт высоких температур РАН

²Московский физико-технический институт (государственный университет)

Для создания технологии плазменной переработки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) необходимо решить вопрос о переводе конденсированного вещества ОЯТ в плазменное состояние [1]. Одним из вариантов такого источника плазмы может выступать вакуумная дуга с диффузной катодной привязкой. Этот тип разряда способен генерировать поток металлической однозарядной плазмы высокой степени ионизации (до 100%), в котором отсутствуют микрокапли продуктов эрозии катода, и тем самым удовлетворить основным требованиям к источнику плазмы для плазменного сепаратора ОЯТ [2].

Реальное ОЯТ в большинстве случаев представляет собой сложный композит, основным элементом которого является диоксид урана. Таким образом, появляется необходимость исследования процессов испарения и ионизации оксидного материала в диффузной вакуумной дуге. В качестве вещества, моделирующего диоксид урана (UO_2), предлагается использовать оксид церия (CeO_2). Непосредственно церий имеет схожую с ураном структуру электронной оболочки (незаполненные до конца f и d орбитали). Его оксид способен обеспечить достаточную плотность тока термоэмиссии для образования диффузной формы дуги (порядка 10 А/см^2 при $T = 2.1 \text{ кК}$). Кроме того, проводимость оксида церия растет с увеличением температуры, что характерно и для диоксида урана [3]. Оксид в экспериментах был представлен в виде порошка, который предварительно спекался в вакууме при $T = 1.9 \text{ кК}$ в течении 10 минут. В результате спекания образовывалась таблетка толщиной около 4 мм и диаметром около 10 мм.

Дуговой разряд зажигался в вакуумной камере при остаточном давлении менее 10 мПа. Катодом дуги служило исследуемое вещество (в данном случае оксид церия массой около 3 г), находившееся в молибденовом тигле с внешним диаметром 25 мм и высотой 14 мм. Под тиглем располагался электронно-лучевой подогреватель (ЭЛП) мощностью до 1.5 кВт, позволявший менять температуру катода при постоянном токе дуги. Характерная рабочая температура катода составляла 2.1 кК. Анодом дуги являлся водоохлаждаемый стальной диск, имевший центральное отверстие диаметром 15 мм.

Межэлектродное расстояние составляло около 30 мм. Источником питания дуги служил выпрямитель с выходным напряжением 380 В. Система диагностики включала измерение температуры тигля пирометрическим методом, а также контроль ВАХ разряда и мощности ЭЛП. Излучение плазмы исследовалось спектральным методом.

В результате экспериментов определена температура тигля $T = 2.05$ К при которой происходит пробой разрядного промежутка. Измерена скорость испарения оксида церия в условиях дуги, составившая 1.6 – 2.3 мг/с. Исследован спектр излучения образующейся плазмы: в нем присутствуют линии церия Ce I, Ce II, Ce III и молибдена Mo I, Mo II, что косвенно свидетельствует о диссоциации молекул оксида церия при генерации разряда, и его взаимодействии с материалом тигля.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-29-00231)

Литература

1. Ворона Н.А., Гавриков А.В., Самохин А.А., Смирнов В.П., Хомяков Ю.С. О возможности переработки ОЯТ и РАО пламенными методами. – Ядерная физика и инжиниринг. – 2014. – № 11-12. – С. 944-951.
2. Амиров Р.Х., Ворона Н.А., Гавриков А.В., Лизякин Г.Д., Полищук В.П., Самойлов И.С., Смирнов В.П., Усманов Р.А., Ярцев И.М. Исследование вакуумной дуги с диффузной катодной привязкой как источника плазмы для плазменной сепарации ОЯТ и РАО. – Физика плазмы. – 2015. – № 10. – С. 877-883.
3. Физико-химические свойства окислов. Справочник / под ред. Самсонова Г.В. – М.: Металлургия, 1978. – 472с.