

микроскопе SIGMA VP компании Carl Zeiss. Кривые ток-время записывались с помощью источника тока АКПП и разработанной программы в среде LabView. Согласно приведенным в работе хроноамперограммам в процессе анодирования наблюдаются несколько стадий, каждая из которых характеризует процесс формирования оксидного слоя. По приведенным хроноамперограммам, а также по изображениям сканирующей электронной микроскопии в работе делаются заключения взаимосвязи морфологических характеристик оксидного слоя с формой и интенсивностью кривых. Таким образом, в настоящем исследовании по характерным признакам анодных кривых ток-время осуществлен способ контроля морфологии наноструктурного слоя оксида циркония.

*Ссылка ИА-АС. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-33-01072.*

1. A.S. Vokhmintsev et al., Proc. USBEREIT 2018, 348 (2018).
2. M.G. Hosseini et al., Corros. Eng. Sci. Technol., 50, 7 (2015).
3. A.V. Kozhevina et al., J. Phys. Conf. Ser., 917, 6 (2017)
4. I.A. Petrenyov et al., J. Phys. Conf. Ser., (2018, in press).

## **ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ САМАРИЯ И ИТТЕРБИЯ ЛАНТАНОТЕРМИЧЕСКИМ ВОССТАНОВЛЕНИЕМ**

Петров А.И., Фофанов Г.Л., Гапеевцев А.С., Иванов В.А.,  
Щетинский А.В., Половов И.Б. \*, Ребрин О.И.

Уральский федеральный университет имени первого Президента  
России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

\*E-mail: [i.b.polovov@urfu.ru](mailto:i.b.polovov@urfu.ru)

## **SAMARIUM AND YTTERBIUM METAL PRODUCTION USING LANTANOTHERMIC REDUCTION**

Petrov A.I., Fofanov G.L., Gapeevtsev A.S., Ivanov V.A.,  
Schetinsky A.V., Polovov I.B. \*, Rebrin O.I.

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

The method of lanthanothermic reduction was proposed for production of metallic samarium and ytterbium. Their oxides were used as a crude material. The optimal conditions of the processes were determined. The enlarged lots of metals were produced using specially designed set-up.

В современном мире в соответствии с требованиями научно-технического прогресса сохраняется устойчивый рост потребления редкоземельных элементов и скандия. Уровни потребления РЗЭ в промышленно развитых странах мира уже на протяжении нескольких десятков лет служат четкими индикаторами экономического развития и национальной безопасности. В настоящее время в России

отсутствуют промышленные производства по получению редкоземельных металлов методами восстановительной плавки. Из мировой практики известно, что в качестве восстановителя наиболее широко используются металлический кальций и литий.

Проведенный термодинамический анализ показал, что фториды таких РЗМ как самарий и иттербий восстанавливаются литием и кальцием в условиях лишь частично (не более, чем на 80 %), а в предварительных экспериментах было установлено, что выход готового продукта при восстановлении фторидов самария и иттербия литием в реальных условиях не превышает 20 %.

Высокая упругость паров самария и иттербия при повышенных температурах позволяет отгонять эти металлы при пониженных давлениях из реакционной зоны, совмещая операции получения и рафинирования. На основании термодинамического анализа в качестве альтернативного восстановителя в настоящей работе предложено использовать металлический лантан, а восстановительную плавку вести при пониженном давлении, тем самым реализуя процесс дистилляции получаемых металлов. При этом в качестве сырья рекомендовано использовать не фториды, а оксиды металлов, что существенным образом сказывается на себестоимости передела.

Исследованы зависимости степени восстановления от технологических параметров подготовки шихты (геометрические размеры таблетки, усилие прессования таблеток) и параметров восстановительной плавки (температура, избыток металла-восстановителя, остаточное давление аргона, время выдержки). Установлено, что показатели процесса улучшаются при возрастании удельного давления при прессовании таблеток и перестают меняться при стабилизации размеров таблеток.

Найдены оптимальные условия проведения процессов. Так, например, для получения иттербия необходимо, чтобы избыток металла восстановителя составлял 5 %, температура выдержки – 1100 °С, остаточное давление аргона в системе – 5 мм. рт. ст., время выдержки при заданной температуре – 4 часа. Как и следовало ожидать, исходя из физико-химических свойств, оксид самария восстанавливается лантаном с большими трудностями, чем оксид иттербия. Для получения степени восстановления более 90% необходимо снижать давление до  $10^{-3}$ - $10^{-4}$  мм рт. ст., повышать температуру до 1150-1200 °С и повышать избыток восстановителя до 30 %.

В соответствии с описанными выше технологическими условиями для определения технологических показателей получения самария и иттербия лантанотермическим восстановлением на исследовательской установке ЛУ-С(И)-ВП были проведены укрупненные балансовые эксперименты, в ходе которых были получены партии металлов, а также подтверждены оптимальные параметры проведения технологических операций, которые взяты за рекомендуемые для технико-экономических расчетов. Проведенный химический анализ указал на высокую чистоту получаемых продуктов.