

УДК 541.13

## ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ВИСМУТА ИЗ СВИНЦОВО-ВИСМУТИСТОГО СПЛАВА

П.А. Архипов<sup>1</sup>, Ю.Р. Халимуллина<sup>1,2\*</sup>, С.А. Краюхин<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup> УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

<sup>3</sup> Технический университет УГМК, Верхняя Пышма, Свердловская область, Россия

\*e-mail: Yu.Halim@ihte.uran.ru

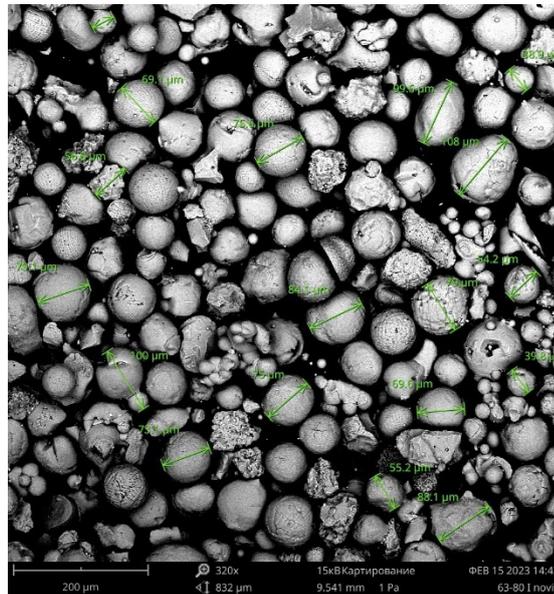
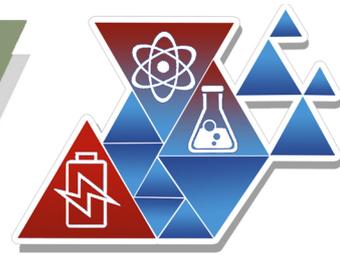
Одним из основных направлений совершенствования процессов получения и рафинирования металлов электролизом в расплаве галогенидов солей является оптимизация технологических процессов и конструкций электролизеров с целью минимизации суммарных затрат, уменьшения энергоемкости производства, а также получение металлов заданной степени чистоты. Применение электролизера с пористой керамической диафрагмой пропитанной солевым электролитом позволит на порядок снизить удельный расход электроэнергии при значительной экономии дорогостоящих материалов и реагентов.

При разработке конструкции пористой диафрагмы материалом для её изготовления была выбрана корундовая керамика, как наиболее устойчивая в расплавах щелочных и щелочно-земельных хлоридов [1, 2], обладающая хорошими диэлектрическими свойствами, высокой жаропрочностью и жаростойкостью [3, 4]. Диафрагма должна иметь форму тигля с дном из плотной керамики, средняя часть – пористая, открытая пористость около 30 %, преимущественно канальная, со средним диаметром пор до 250 мкм.

Изучив возможности различных вариантов традиционных технологий получения пористой керамики: пенообразование, выгорающие добавки, газовыделение, прессование узкофракционных порошков со связкой и т.д., применительно к поставленной задаче выбрана технология плазменного напыления, как наиболее применяемая для изготовления объемных керамических изделий [5].

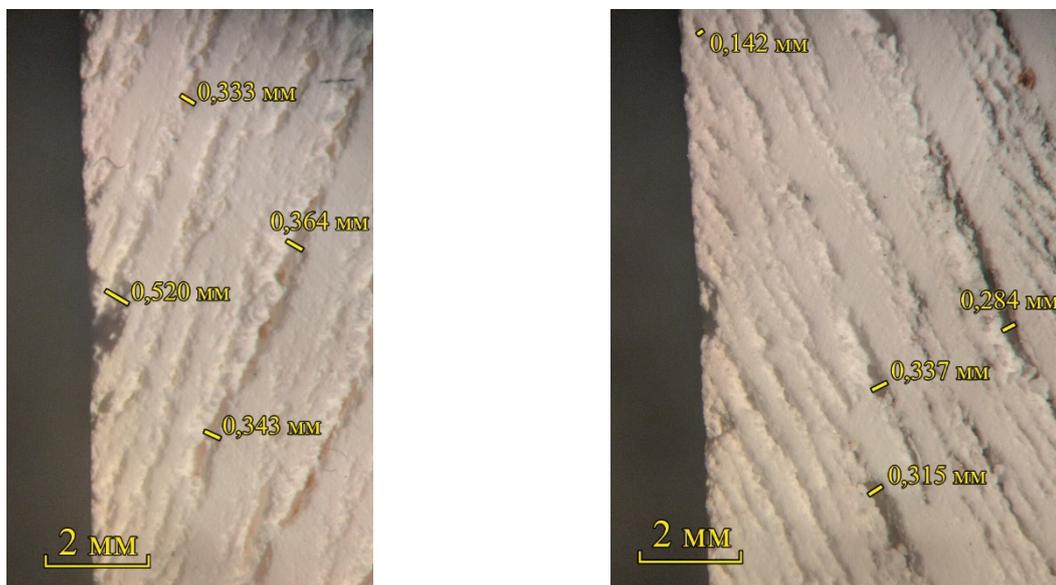
Диафрагму изготовили из порошка корунда марки «CoAl+» (ООО Технокерамика) фракции 63–80 мкм. Анализ провели методом гранулометрии с использованием лазерного дифракционного анализатора гранулометрического состава Malvern Mastersizer 2000 фирмы Malvern. На рисунке 1 представлены микрофотографии исходного сырья для изготовления керамических диафрагм.

Электролитическое извлечение висмута осуществляли в электролизере оригинальной конструкции [6]. В алундовый тигель помещена керамическая диафрагма, изготовленная плазменным напылением порошка корунда (рис. 1) (ЗАО «Уралинтех»), разделяющая пространство на анодную и катодную части таким образом, чтобы анодный и катодный металлы имели контакт с электролитом, расположенным в порах керамической диафрагмы.



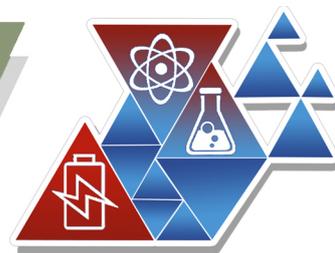
**Рисунок 1.** Фото сфероидизированного порошка (фракция 63-80 мкм).

Микрофотографии шлифов пористых диафрагм приведены на рисунке 2.



**Рисунок 2.** Микрофотографии образцов диафрагмы.

Диафрагма представляет собой емкость цилиндрической формы с конусо-сферическим дном. Внутреннее пространство диафрагмы образует катодное отделение, заполняемое при электролизе очищенным свинцом. Пористая стенка диафрагмы толщиной 5 мм пропитана расплавленным солевым электролитом, и в процессе электролиза служит ион-проводящей средой, осуществляющей перенос ионов свинца из анодного в катодное пространство.



Подвод тока к электродам осуществляли графитовыми стержнями. Загрузку, выгрузку металла и отбор проб для химического анализа осуществляли с таким расчетом, чтобы уровни анодного и катодного металлы были равны.

В качестве анодного металла использовали висмутистый свинец состава, масс. %: свинец от 92,0 до 94,0; висмут от 6,0 до 8,0; сурьма от 0,01 до 0,02.

Опытные испытания проводили с токовой нагрузкой до 8 А в течение 107 часов в расплаве из хлоридов калия и свинца при непрерывном контроле режимов процесса рафинирования.

Технологические параметры осуществления способа:

- плотность тока..... от 0,5 до 1,5 А/см<sup>2</sup>;
- напряжение на электродах.....от 0,5 до 1,9 В;
- токовая нагрузка .....от 3 до 8 А;
- температура процесса .....от 480 до 530 °С.

Результаты процесса электрорафинирования приведены в таблице 1, содержащей химический состав исходных материалов и полученных продуктов.

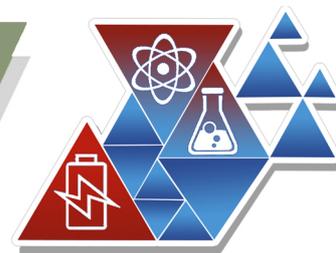
**Таблица 1.** Химический состав исходных материалов и полученных продуктов.

Металл	Sb	Sn	Bi	Zn	Fe	As	Ag	Pb
Исходный	0,02	0,002	6,65	<0,0003	<0,0003	0,0020	0,003	Ост.
Катодный	0,0005	0,0001	0,37	<0,00005	0,0008	0,0002	0,0006	Ост.
Анодный	0,01	0,0010	95,5	<0,0003	0,0005	0,038	0,005	Ост.

Как видно из данных таблицы, полученный на аноде продукт содержал 95,5 масс.% висмута, а осажденный на катоде свинец содержал в масс. %: 0,0006 Ag; <0,037 Bi; <0,0002As; 0,0001 Sn; 0,0005 Sb. Стоит отметить, что удельный расход электроэнергии по свинцу составил 0,615 кВт·ч/кг свинца, что в несколько раз меньше расчетного значения по способу [7] – 3,71 кВт·ч/кг свинца. Преимуществами данного способа являются: отсутствие контакта расплавленного электролита с воздухом, при этом испарение солей сводится к минимуму; малое межэлектродное расстояние позволяет повысить плотность тока и снизить энергоемкость процесс.

## Список литературы

1. Герасименко А.А. Защита от коррозии, старения, биоповреждений машин, оборудования, сооружений. Справочник т.1. М.: Машиностроение, 1987.
2. Будников П.П., Харитонов Ф.Я. Керамические материалы для агрессивных сред. М.: Стройиздат, 1971.
3. Балкевич В.Л. Техническая керамика. М.: Стройиздат, 1984.



4. *Кайнарский И.С., Дегтярева Э.В., Орлова И.Г.* Корундовые огнеупоры и керамика. М.: Металлургия, 1981.
5. *Ермаков А.В., Никифоров С.В., Бочегов А.А.* Пат. 2536536 (Россия). 2014.
6. *Архипов П.А., Зайков Ю.П., Халимуллина Ю.Р.* Пат. 2522920 (Россия). 2014.
7. *Теут А.О., Клименко В.В.* // Цветная металлургия. 2012. № 5. С. 31–36.