

## АННОТАЦИЯ

Диссертации на соискание доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07201 – Metallургия

**КУАНДЫКОВА АЛМАЗА БОЛАТОВИЧА**

### **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ РАФИНИРОВАНИЯ ПЕРВИЧНОГО АЛЮМИНИЯ ОТ ПРИМЕСЕЙ ВАНАДИЯ**

**Актуальность темы диссертационной работы.** В Павлодарской области Республики Казахстан на базе АО «АК» и АО «КЭЗ» развивается алюминиевый кластер, дальнейшее развитие которого связано с местными предприятиями ТОО «Казэнергокабель», ТОО «GiessenHaus», ТОО «Вектор-Павлодар», ТОО «СНН», производящие алюминиевую катанку и проволоку, легированный алюминий, литые колесные диски, литые батареи, а также предприятиями, поставляющими сырье для нужд электролизного производства (ТОО «УПНК-ПВ», производство прокаленного нефтяного кокса).

Все алюминиевые сплавы имеют определенные примеси, влияющие на физические и химические свойства. Основными из них являются водород, натрий, литий, кальций, оксиды  $Al_2O_3 \cdot MgO$ , шпинель  $Al_2O_3 \cdot MgO$ , нитрид  $AlN$ , силикат  $CaSiO_3$ , алюминат  $CaAl_2O_4$ , карбиды  $SiC$ ,  $TiC$ ,  $Al_4C$ , интерметаллиды  $Al_3Ti$ ,  $Al_3Zr$ ,  $AlTiZr$ , для удаления которых успешно внедрены в производство различные способы рафинирования.

В последние годы наметилась тенденция вовлечения в электролизное производство алюминия менее качественных источников сырья для производства анодов, которые приводят к загрязнению алюминия-сырца такими примесями как V, Ni и тяжелыми цветными металлами.

В ряде работ предложены способы рафинирования первичного алюминия от примесей ванадия, которые не нашли широкого промышленного применения из-за высокой время- и ресурсозатратности процесса очистки, экономической нерентабельности [15 – 18, 34 – 36]. На основании вышеизложенного разработана комплексная технология рафинирования первичного алюминия от примесей ванадия и других примесей металлов является весьма актуальной.

**Цель диссертационной работы:** исследование и разработка комплексной технологии рафинирования первичного алюминия от примесей ванадия вне электролизной ванны, за счет обработки борной кислотой и индукционного перемешивания с последующим фильтрованием через зернистые фильтры из золы Экибастузского угля с дальнейшей переработкой отработанных фильтров.

**Научная новизна полученных результатов:**

1) Впервые разработана комплексная технология рафинирования первичного алюминия от примесей ванадия за счет обработки борной

кислотой с индукционным перемешиванием, фильтрования через зернистые фильтры из золы Экибастузского угля и с дальнейшей переработкой отработанных фильтров.

2) Термодинамическим анализом в HSC Chemistry 9.0. и в результате проведенных крупно-лабораторных испытаний установлено, что снижение содержания ванадия при рафинировании борной кислотой ( $H_3BO_3$ ) в объеме от 1,2 – 2 кг/т и индексе интенсивности индукционного перемешивания до 76 составляет в среднем 55 – 59 % при времени обработки до 15 минут во всем диапазоне рабочих температур процесса электролиза и литья первичного алюминия за счет образования  $VB_2$ .

3) Выявлено снижение содержания ванадия в расплаве алюминия (у, ppm) и его равномерное распределение в объеме ковша за счет увеличения расхода бора ( $x_1$ , кг/т) и индекса интенсивности перемешивания ( $x_2$ ) по следующей зависимости:

$$y = 76,83 - 4,58x_1 - 0,16x_2$$

4) Методом растровой электронной микроскопии выявлено измельчение включений ванадия с бором в образцах алюминия при интенсивном индукционном перемешивании за счет дробления крупных участков образующегося диборида ванадия.

5) Оптико-эмиссионной спектрометрией установлено снижение содержания примесей металлов в алюминии-сырце при обработке бором, при чем степень удаления всех примесей при индукционном перемешивании выше, чем при обработке без перемешивания и находятся в пределах: Si 43 – 97 %; Cu 5 – 17 %; Mn 4 – 50 %; Mg 22 – 47 %.

6) Крупно-лабораторными испытаниями установлено, что фильтрационное рафинирование жидкого алюминия-сырца после флюсовой обработки борной кислотой ( $H_3BO_3$ ) с индукционным перемешиванием от образующихся при рафинировании интерметаллидов  $VB_2$  в твердом виде в насыпном объемном фильтре толщиной не менее 70 – 90 мм с гранулами размером 15 – 25 мм из золы Экибастузского угля обеспечивает удаление ванадия до значений 0,0003 – 0,0012 %.

7) Термодинамическим и рентгенофлуоресцентным спектральным анализом установлена реализация реакционно-кристаллизационного механизма фильтрования жидкого алюминия от примесей диборида ванадия за счет осаждения  $V_2O_5$  в количестве до 0,1 % на поверхности оксидов железа насыпного фильтра из золы Экибастузского угля.

8) Экспериментально установлена возможность реализации замкнутого цикла производства первичного алюминия с применением насыпных фильтров из золы Экибастузского угля за счет вовлечения в переработку отработанных фильтров в несколько этапов: металлургической переработке алюминиевого скрапа и использования отделенного от зерен отработанных фильтров в качестве заполнителя в объеме до 40 % при производстве бетона для строительных изделий с обеспечением прочности образцов бетона в

пределах 20,89 – 37,75 МПа в зависимости от содержания портландцемента (от 20 до 40 %), что соответствует классу тяжелого бетона.

**Новизна результатов исследовательской работы** подтверждается патентом на изобретение РК №36241 от 02.06.2023 года «Способ очистки алюминия и его сплавов от примесей тяжелых металлов».

**Основные положения, выносимые на защиту:**

- результаты термодинамического моделирования в HSC Chemistry 9.0 протекания химических реакций взаимодействия  $H_3BO_3$  и металлических примесей в расплаве алюминия на основе системы Al-V-B;

- результаты экспериментальных исследований по флюсовой обработке борсодержащими материалами с дополнительным индукционным перемешиванием первичного алюминия для удаления примесей ванадия и других металлических примесей;

- результаты экспериментальных исследований фильтрационного рафинирования через зернистые фильтры на основе золошлаковых отходов Экибастузского угля расплава алюминия от продуктов взаимодействия примесей ванадия с бором и других металлических примесей после флюсового рафинирования с индукционным перемешиванием;

- результаты экспериментальных исследований по переработке отработанных фильтров с получением строительных изделий и вторичного металла.

**Практическая значимость работы**

На предлагаемую технологию получены патент на изобретение Республики Казахстан, акты испытаний, положительная экспертная оценка АО «Казахстанский электролизный завод».

Установлено, что перевод производства анодов в АО «КЭЗ» полностью на кокс ТОО «УПНК-ПВ» позволит увеличить поставки местного прокаленного кокса с 51,875 тысяч тонн до 103,750 тысяч тонн, что увеличит местное содержание сырья.

**Публикации и апробация работы.** Результаты диссертационной работы опубликованы в пяти статьях, в том числе:

- одна статья в журнале, входящем в базу Scopus (Q3, 35 перцентиль):

- Выков Р.О., Kuandykov A.B., Zhunusov A.K., Tolymbekova L.B., Suyundikov M.M. Complex processing of primary aluminum to remove impurities of non-ferrous metals // *Metalurgija* 62 (2023) 2, P. 293-295.

- четыре публикации в журналах из перечня изданий, рекомендуемых Комитетом по обеспечению качества в науке и высшем образовании Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан для публикации основных результатов научной деятельности:

- Выков Р.О., Kuandykov A.B., Zhunusov A.K. Refining of Primary Aluminum from Vanadium // *Defect and Diffusion Forum*, 2021, 410DDF. – P. 405 – 410.

- Выков Р., Kuandykov A., Chaikin V., Zhunusov A., Suyundikov M. Scanning Electron Microscopy of Primary Aluminum Refined With Boric Acid // *Труды университета*, 2022, №4. – С. 91 – 96.

- Куандыков А.Б., Быков П.О. Исследование рафинирования первичного алюминия от примесей цветных металлов с применением «активных» зернистых фильтров на основе борной кислоты // Наука и техника Казахстана, 2023, №3. – С. 203 – 210.

- Bykov P.O., Kuandykov A.B., Aryngazin K.Sh., Kaliyeva A.B., Larichkin V.V. Environmental aspects of processing granular filters for primary aluminum refining // Наука и техника Казахстана, 2024, №1. – Р. 152 – 161.

Получен патент на изобретение РК:

- Патент на изобретение РК №36241 «Способ очистки алюминия и его сплавов от примесей тяжелых металлов» / Быков П.О., Куандыков А.Б., Жунусов А.К., Кулумбаев Н.К., Суюндиков М.М. – заявл. 2022/0038.1; опубл. 02.06.2023.

Основные положения и результаты работы апробированы и доложены на трёх международных конференциях в виде устных докладов:

- Быков П.О., Куандыков А.Б., Смаилов Б.Ш. Перспективы развития технологии рафинирования первичного алюминия от ванадия. // Материалы международной научно-практической конференции "XI Торайгыровские чтения". Т. 5. - Павлодар : ПГУ имени С. Торайгырова, 2019. - С. 63 - 71.

- Куандыков А.Б., Быков П.О., Чайкин В.А. Комплексная технология рафинирования первичного алюминия от примесей цветных металлов // Труды международной научно-практической конференции «Ұлытау – Қазақстан металлургиясының бесігі». – Алматы : КазННТУ им. К. И. Сатпаева, 2023. - С. 110 - 115.

- Куандыков А.Б., Быков П.О. Применение активных зернистых фильтров при обработке первичного алюминия // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию образования кафедры «Металлургия» «Проблемы и перспективы металлургической отрасли: теория и практика». – Павлодар : Toraighyrov University, 2023. – С. 140 – 145.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа изложена на 121 странице печатного текста и состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка использованных источников и приложений. Работа содержит 42 рисунка, 41 таблицу, список использованных источников из 124 наименований и 6 приложений.