

Уральский федеральный университет

имени первого Президента
России Б.Н.Ельцина

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ)

ул. Мира, 19, Екатеринбург, 620002,
факс: +7 (343) 375-97-78; тел.: +7 (343) 374-38-84
контакт-центр: +7 (343) 375-44-44, 8-800-100-50-44 (звонок бесплатный)
e-mail: rector@urfu.ru, www.urfu.ru
ОКПО 02069208, ОГРН 1026604939855, ИНН/КПП 6660003190/667001001

19 НОЯ 2018

№ 05-19/1 - 124

На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке ФГАОУ ВО
«Уральский федеральный
университет имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина»
к.ф.м.н. С.П.Ф.
Кружась Владимир Венедиктович

« 19 ноября 2018 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» на диссертацию **Саитова Антона Викторовича** «Применение литиевых добавок при электролитическом производстве алюминия для повышения стойкости подовой футеровки алюминиевого электролизера», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов»

1. Актуальность темы диссертации

Представленная диссертационная работа посвящена решению актуальной проблемы повышения срока службы алюминиевых электролизеров. Промышленный способ получения алюминия электролизом криолит-глиноземных расплавов имеет существенные недостатки, связанные с разрушением футеровки вследствие пропитки электролитом и натрием, являющиеся причиной снижения срока службы катода, отклонений от заданной производительности от проектных значений, что в итоге приводит к преждевременной остановке электролизера. Существуют запатентованные технические решения, направленные на повышение стойкости углеграфитовой футеровки и защиты от диффузии натрия путем применения различных покрытий, инертных материалов, использования специальных добавок в углеродную шихту наполнителя подовых масс. Несмотря на все преимущества существующих решений, они не находят широкого применения в промышленности ввиду высокой себестоимости и сложности их внедрения в действующее производство.

№ 438-10
от 27.11.2018

Несмотря на изученность вопросов, связанных с внедрением натрия и лития в углеграфитовую футеровку, в настоящее время не существует целенаправленных технических и технологических решений для использования лития и его добавок как модифицирующей добавки для повышения срока службы футеровки алюминиевого электролизера выше проектных значений. Поэтому автором предлагаются новые технические решения, заключающиеся в предварительной обработке поверхности углеграфитовой футеровки парами лития, а также применение лития в качестве модифицирующей добавки в холодно-набивных подовых массах с целью создания условий, препятствующих внедрению компонентов электролита в углеграфитовую подовую футеровку.

Таким образом, актуальность диссертационной работы Саитова А.В. заключается в разработке технических решений для увеличения срока службы алюминиевых электролизеров путем повышения эксплуатационных и физических характеристик углеграфитовых материалов футеровки подины электролизера за счет применения литиевых добавок.

2. Конкретное личное участие автора в получении результатов диссертации заключается в постановке цели, формулировке задач и разработке методики исследований; в проведении анализа научно-технической литературы и патентного поиска; выполнении лабораторных исследований и разработке технических решений, адаптированных к условиям действующего производства первичного алюминия; научном обобщении результатов, их публикации и апробации.

3. Научная новизна работы

Автором получены следующие научно-практические результаты, обладающие квалификационными признаками научной новизны и имеющие значение для развития теории и практики процесса производства алюминия электролизом:

- Установлено, что при воздействии лития на углеграфитовую подовую футеровку электролизера происходит образование поверхностного барьерного антидиффузионного слоя, препятствующего внедрению натрия и снижающего уровень пропитки подовых блоков криолит-глиноземным расплавом.

- Рассчитаны коэффициенты диффузии натрия и определены значения энергии активации процессов внедрения натрия в обработанную литием углеграфитовую футеровку.

- Выявлено, что поверхностный слой толщиной 5-7 мм после обработки парами лития углеграфитовых материалов имеет наиболее эффективную активную защиту в начальный момент времени выдержки углеграфитовых материалов в электролите в течение 8-9 часов, что на практике, снижает очаги разрушений в углеграфитовой футеровке в пусковой период электролизеров.

- Установлено, что при модифицировании холодно-набивной подовой массы добавками карбоната лития и кремния в количестве 0,5-4,0 мас. %, снижается удельное электрическое сопротивление обожженной холодно-набивной подовой массы на 15 % по сравнению со стандартными подовыми массами за счет интеркаляции лития в структуру графита.

4. Научные результаты

По материалам теоретических и экспериментальных исследований автором получены следующие научные результаты:

- Экспериментально доказано, что при взаимодействии углеграфитовых материалов с карбонатом лития в отличие от фторидов лития существуют сопутствующие электролизу высокотемпературные взаимодействия компонентов системы в расплаве, которые сопровождаются как разрушением рабочей поверхности углеграфитовых материалов, так и ее упрочнением, которое не подвергается разрушению на воздухе.

- Изучение модифицированных литием образцов показало уменьшение концентрации натрия на одинаковом расстоянии от поверхности углеграфитовых материалов для обработанных образцов по сравнению со стандартными образцами углеграфитовых материалов в исследуемых температурных и временных интервалах. Установлено, что скорость пропитки натрием в углеграфитовый материал повышается с увеличением температуры и времени выдержки в криолит-глиноземном расплаве.

- По результатам полученных данных определены значения энергии активации процесса диффузии натрия в стандартный углеграфитовый материал – $E_a = 108$ кДж/моль, а также, для процесса диффузии натрия в обработанный литием углеграфитовый материал – $E_a = 166$ кДж/моль. Выявлено, что диффузия натрия в углеграфитовые материалы, помимо массопереноса, имеет характер химической диффузии. Энергия активации процесса диффузии натрия в обработанный углеграфитовый материал в 1,5 раза больше чем энергия активации диффузии натрия в стандартный углеграфитовый материал, что предполагает гипотезу наличия интеркалированных соединений типа LiC_x после обработки и необходимость большей потенциальной энергии атома натрия для преодоления этих связей во время диффузии.

- При применении модифицирующей добавки, состоящей из смеси карбоната лития и кристаллического кремния с соотношением 4:1 в холодно-набивной подовой массе установлено, что увеличивается стойкость к пропитке натрием и изменяются электрические свойства обожженной подовой массы. Показано, что рациональное содержание модифицирующей добавки в холодно-набивной подовой массе для придания ей стойкости к проникновению натрия с одновременным понижением значения удельного электрического сопротивления с 73-77 мкОм·м до 43-55 мкОм·м составляет 0,5-4,0 мас. %, что позволяет уравновесить показатели удельного электрического сопротивления периферийного, межблочных швов и

катодных блоков, а также снизить рабочее напряжение на электролизере ОА 300 М1 на 80-100 мВ.

- Выполненный расчет эффективности инновационного решения применения модифицирующей добавки в холодно-набивной подовой массе в количестве от 0,5 до 4,0 мас. %, состоящей из смеси карбоната лития и кристаллического кремния в соотношении 4:1 показал, что он является экономически целесообразным и позволяет снизить удельный расход электрической энергии на 250 кВт·ч/т Al.

5. Практическая значимость работы

На основании проведенных исследований автором разработаны и предложены технические решения по способу защиты углеграфитовой футеровки, реализация которых позволит достичь существенного повышения ее стойкости и прочности, снижение рабочего напряжения и расхода электроэнергии за счет обработки поверхности углеграфитовой футеровки литием и модифицирования холодно-набивных подовых масс добавками на основе карбоната лития и кремния (Патенты РФ на изобретение № 2522928, № 2626128, № 2548875).

Выполнена оценка эффективности предложенных технических решений, которая показала, что результатом применения литиевых добавок в холодно-набивных подовых массах и обработки поверхности катодных блоков подовой футеровки литием позволит уравновесить показатели удельного электрического сопротивления периферийного, межблочных швов и катодных блоков, а также снизить рабочее напряжение на электролизере ОА 300 М1 на 80-100 мВ и удельный расход электрической энергии на 250 кВт·ч/т Al.

Результаты исследований, изложенные в представленной диссертации, в том числе выводы, имеют, несомненно, научную и практическую значимость и могут быть рекомендованы к использованию на предприятиях алюминиевой отрасли и в учебном процессе на специализированных кафедрах.

6. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и результатов, содержащихся в диссертационной работе, подтверждается использованием современных методов исследований и обработки данных, отраслевых и стандартных методик, соответствием современным представлениям о физико-химической сущности процесса получения алюминия электролитическим способом, а также соответствием известным тенденциям развития исследований в области производства алюминия. С учетом опубликованных работ, обсуждения результатов исследований на конференциях различного уровня их достоверность и обоснованность не вызывают сомнений.

7. Публикации основных материалов диссертации

Представленные в диссертационной работе результаты исследований достаточно полно отражены в 12 печатных трудах, в том числе 8 статей опубликованы в журналах, входящих в перечень ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации, и получено 3 патента на изобретение.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований докладывались и обсуждались на международной конференции на базе Фрайбергской горной академии «Freiberg-St.Petersburg Colloquium of youngs scientists» (Германия, г. Фрайберг, 2015), на международных семинарах-симпозиумах «Нанопизика и наноматериалы (Санкт-Петербург, 2015, 2016), на Международных конференциях огнеупорщиков и металлургов (Москва, 2016, 2017, 2018), на Международном конгрессе «Цветные металлы и минералы – 2017» (Красноярск, 2017).

8. Качество оформления диссертации и автореферата

Анализ содержания диссертации Саитова А.В. показал, что ее тема соответствует п.11 «Пирометаллургические процессы и агрегаты», п.12 «Электрометаллургические процессы и агрегаты» и п.17 «Материало- и энергосбережение при получении металлов и сплавов» паспорта специальности 05.16.02 - Металлургия черных, цветных и редких металлов.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, и списка литературы, изложенных на 146 страницах. Работа содержит 62 рисунка, 24 таблицы и список литературы из 129 наименований. Диссертация хорошо сбалансирована по представлению результатов теоретических и экспериментальных исследований, материалов технологической проработки предлагаемых решений. Текст хорошо отредактирован и написан технически грамотным языком. Рисунки и материалы графической обработки данных дают наглядное представление об использованных методах, оборудовании и установленных закономерностях.

Содержание работы, её основные результаты и научные положения, выносимые на защиту в достаточной степени отражены в автореферате и публикациях соискателя.

Отмечая высокое качество диссертационной работы А.В. Саитова, необходимо отметить следующие недостатки:

1. Диссертация местами недостаточно структурирована и пропорциональна, например, первую главу можно было бы сократить, уделив больше внимания экспериментальной части работы.

2. Выполненный автором расчет энергетической эффективности внедрения разработанных инновационных решений показал, что он целесообразен в плане снижения расхода удельной электрической энергии, но не приведены экономические показатели результата внедрения предложенных решений.

3. На странице 78 автор утверждает, что литий проникает на глубину 5-7 мм, но при этом, непонятно какую площадь покрывает литий и каково его распределение по поверхности образца.

4. Для расчета коэффициента диффузии натрия в уравнении второго закона Фика (страница 83, уравнение (3.1)) более полезным использовать тот случай, когда диффузионный фронт является не плоским, но имеет строго выраженную симметрию – цилиндрическую.


Представленные замечания носят частный характер и не влияют на общую положительную оценку представленной диссертационной работы, выполненной на высоком исследовательском уровне.

9. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным положениям о присуждении ученых степеней

Диссертационная работа Сайтова А.В. является самостоятельно выполненным, законченным исследованием которое по научному уровню, актуальности и обоснованности научных положений, практической значимости отвечает требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Сайтов Антон Викторович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден и одобрен на заседании кафедры «Metallургии цветных металлов» ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина». Присутствовало на заседании 19 чел., результаты голосования «за» 19 чел., «против» 0 чел., «воздержались» 0 чел.

Протокол заседания № 113 от 15 ноября 2018 г.

Председатель
Зав. кафедрой metallургии цветных металлов
профессор, д.т.н.  С.В. Мамяченков

Секретарь
Профессор, д.т.н.  И.В. Логинова

Мамяченков Сергей Владимирович

Логинова Ирина Викторовна

Подписи С.В. Мамяченков, Логиновой И.В.
заверяю

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ УРФУ
ОЗЕРЕЦ Н.Н.



