

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИМЕТ УрО РАН

член-корреспондент РАН, профессор,  
доктор физико-математических наук



А.А. Ремпель

ПОДПИСЬ

2019 г.

М.П.

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Катаева Александра Александровича на тему: «Получение сплавов Al-B восстановлением  $\text{KBF}_4$  и  $\text{B}_2\text{O}_3$  в легкоплавких криолитовых расплавах», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 05.17.03 – Технология электрохимических процессов и защита от коррозии

Бор используется в производстве электротехнического алюминия в качестве рафинирующего компонента, а также как легирующая добавка в алюминиевые сплавы для улучшения их литейных и механических свойств и как модифицирующая добавка, способствующая измельчению зерна сплава. Бор вводится в алюминий в виде лигатуры Al-B. Производство лигатур Al-B осуществляет несколько предприятий в мире (ALEASTUR, Испания; AMG Aluminum, США-Канада и др.), и сведения о технологии ограничены. В России лигатуры Al-B в промышленных масштабах не производят, а небольшие частные компании не могут обеспечить потребительский спрос. В диссертационной работе Катаева А.А. предложены способы алюминотермического и электролитического получения сплавов алюминий-бор. Применение легкоплавких криолитовых расплавов на основе  $\text{KAlF}_4$

позволяет существенно снизить температуру процесса с одновременным повышением его эффективности.

Рассматриваемая диссертационная работа посвящена научному обоснованию технологии алюминотермического и электролитического получения сплавов Al-B в расплавах на основе легкоплавких криолитов.

**Общая характеристика работы.** Диссертационная работа выполнена на кафедре технологии электрохимических производств ФГАОУ ВО «Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина». Диссертация изложена на 113 страницах машинописного текста, содержит 46 рисунков и 13 таблиц. Во введении отражены актуальность работы, её цель и задачи исследования, научная новизна и положения, выносимые на защиту. Основному содержанию каждой из четырёх глав предшествует анализ литературных источников по рассматриваемой проблеме, из которого закономерно вытекают поставленные цели и решаемые задачи. Отдельные главы между собой логически связаны, хорошо структурированы, каждая заканчивается выводами. В первой главе представлены подробно методы и методики исследования. Во второй главе рассматриваются результаты исследований физико-химических свойств расплавов на основе калиевого криолита, содержащих соединения бора. Третья глава посвящена выявлению механизма взаимодействия расплава  $\text{KBF}_4$  и  $\text{B}_2\text{O}_3$  с криолитами. В четвертой главе исследованы процессы получения сплава Al-B методами алюминотермического и электролитического восстановления борсодержащих компонентов с использованием расплавов на основе калиевого криолита, рекомендованных по результатам физико-химических исследований. В заключении проведено обобщение полученных результатов. Список использованной литературы состоит из 100 источников, включая публикации автора по теме диссертации.

По объёму и структуре работа соответствует требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к кандидатской диссертациям.



**Актуальность темы.** Актуальность диссертационной работы Катаева Александра Александровича определяется необходимостью разработки научных основ технологии алюмотермического и электролитического получения сплавов Al-B. Применение новых технологий позволит увеличить выпуск, необходимых промышленности, алюмо-борных лигатур и отказаться от закупок дорогостоящего импортного сырья. Об актуальности темы свидетельствует поддержка работы Министерством образования и науки (государственный контракт № 14.607.21.0042 от 21.08.2014 г.).

**Научная новизна:**

– показана принципиальная возможность получения сплавов Al-B в среде расплавленных солей на основе легкоплавкого калиевого криолита содержащих  $\text{KBF}_4$  и  $\text{B}_2\text{O}_3$ ;

– установлены закономерности изменения физико-химических свойств (температура ликвидуса, термическая устойчивость, электропроводность, плотность, растворимость  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) расплавов на основе легкоплавкого калиевого криолита, содержащих  $\text{KBF}_4$  и  $\text{B}_2\text{O}_3$ , в зависимости от состава и температуры;

– на основании физико-химических и спектроскопических исследований предложен двухстадийный механизм взаимодействия оксида бора с расплавленными смесями  $\text{KF-AlF}_3$  и  $\text{KF-NaF-AlF}_3$ . Реакция на первой стадии протекает с образованием тетрафторбората калия и оксида алюминия, на второй стадии происходит образование фтороксоборатов различных составов. При введении в систему фторида натрия образуется плохо растворимое соединение  $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{B}_2\text{O}_7$ .

**Значимость для науки и практики выводов и рекомендаций.**

Физико-химическими исследованиями показано, что применение расплава на основе легкоплавкого калиевого криолита в качестве среды при получении лигатурных сплавов Al-B позволяет повысить эффективность использования борсодержащего сырья и понизить температуру процесса в

алюминотермическом способе, а также проводить процесс электролитического восстановления бора из  $B_2O_3$ .

Результаты исследований рекомендованы для использования на металлургических предприятиях, производящих алюминиевые сплавы, в НИИ при решении вопросов производства лигатур и вузах химического и химико-технологического профиля.

**Публикации.** Результаты работы достаточно полно представлены в печати в 17 публикациях. Среди них 8 статей в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК, 8 тезисов докладов на российских и международных конференциях, 1 патент Российской Федерации.

Текст автореферата соответствует диссертации.

**Замечания и вопросы по содержанию работы:**

1. Каковы характеристики электролизера, использованного при электрохимическом получении сплава Al-B? Произведен ли расчет баланса напряжений? Чему равен удельный расход электроэнергии на тонну сплава или тонну бора?

2. По какому механизму происходит алюминотермическое восстановление бора из  $B_2O_3$ ? Можно ли судить о формах нахождения бора в расплаве по данным представленного исследования?

3. Алюминотермическое и электролитическое получение сплавов алюминий-бор с применением фторсодержащих соединений характеризуется образованием летучих компонентов. Было бы целесообразно в рамках представленного исследования оценить количество выделяемых вредных летучих продуктов (фторидов).

4. Предполагается ли масштабирование предложенной технологии? Для каких металлургических предприятий она может быть рекомендована и каков ожидаемый эффект? Сплавы с каким содержанием бора востребованы промышленностью?



Сделанные замечания и вопросы не снижают ценности представленной работы и носят дискуссионный характер, не влияя на общую положительную оценку рассмотренной диссертации.

**Оценка качества оформления работы.** Диссертация написана грамотным научным языком, хорошо оформлена. Текст диссертации тщательно выверен, но встречаются отдельные опечатки и стилистические неточности.

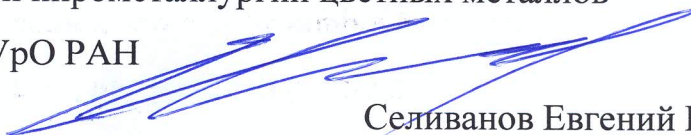
Согласно формуле специальности 05.17.03 – Технология электрохимических процессов и защита от коррозии, в работе изучены превращения вещества на межфазных границах жидкий электрод – солевой расплав и в объеме различных фаз при электроосаждении сплавов алюминий-бор и способы управления этими процессами. Областью исследования являются теоретические основы электрохимических и химических процессов электролиза сплавов алюминий-бор (п.1 паспорта специальности), технология электролиза (п.5).

**Заключение.** Диссертация Катаева А.А. «Получение сплавов Al-B восстановлением  $\text{KBF}_4$  и  $\text{B}_2\text{O}_3$  в легкоплавких криолитовых расплавах» является законченной научно-квалификационной работой. Поставленная автором цель выполнена – созданы научные основы двух методов получения сплавов Al-B с использованием легкоплавких криолитов: установлены закономерности изменения физико-химических свойств этих расплавов при растворении в них борсодержащих добавок  $\text{KBF}_4$  и  $\text{B}_2\text{O}_3$  и механизм взаимодействия компонентов, а также оптимальные режимы проведения процессов. По критериям актуальности, новизны, достоверности полученных соискателем результатов, а также научной и практической значимости работа соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 с изменениями постановления Правительства РФ от 21 апреля 2016 г. № 335). Катаев Александр Александрович достоин присуждения учёной степени

кандидата химических наук по специальности 05.17.03 - Технология электрохимических процессов и защита от коррозии.

Работа обсуждена на расширенном семинаре лаборатории пиromеталлургии цветных металлов, протокол № 49 от 19.08.2019, отзыв одобрен на заседании Учёного совета Института металлургии УрО РАН, протокол № 8 от 20.08.2019 г.

Председатель научного семинара, доктор технических наук,  
заведующий лабораторией пиromеталлургии цветных металлов  
Института металлургии УрО РАН



Селиванов Евгений Николаевич

Секретарь научного семинара, кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник лаборатории пиromеталлургии  
цветных металлов Института металлургии УрО РАН



Уполовникова Алёна Геннадьевна

620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена 101, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук (ИМЕТ УрО РАН).

Телефон: (343) 232-91-09

e-mail: [pcmlab@mail.ru](mailto:pcmlab@mail.ru)

*Подписи Селиванова Е.Н. и Уполовниковой А.Г. удостоверяю:*

Учёный секретарь ИМЕТ УрО РАН

кандидат химических наук



Долматов Алексей Владимирович