

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук  
Никитина К.В. на диссертацию Косова Ярослава Игоревича на тему:  
«Разработка технологии получения лигатуры алюминий-эрбий  
алюминотермическим восстановлением хлоридно-фторидных  
расплавов», представленной на соискание ученой степени кандидата  
технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных,  
цветных и редких металлов»

### Актуальность темы диссертации.

Диссертация Косова Ярослава Игоревича посвящена решению важной проблемы, связанной с разработкой технологии получения эффективной лигатуры алюминий-эрбий, предназначенной для легирования и модифицирования алюминиевых сплавов и литых изделий из них с повышенными физико-механическими свойствами.

В России на протяжении последних десяти-пятнадцати лет для легирования и модифицирования алюминиевых сплавов наиболее широко используются лигатуры со скандием и другими переходными металлами.

В последние годы отмечается тенденция к увеличению спроса на лигатуры с редкоземельными (в том числе эрбием) металлами, которые могут частично заместить скандий без потери ценных для техники рабочих характеристик, с одновременным снижением себестоимости сплавов. Зарубежные производители лигатуру Al-Er изготавливают сплавлением чистых металлов. Отсутствие отечественной технологии, высокие энергетические затраты и материалоемкость, связанные с использованием металлического эрбия, сдерживают создание новых эрбийсодержащих сплавов и их применение.

В связи с этим, диссертация Косова Я.И., включающая разработку технологии алюминотермического получения лигатуры алюминий-эрбий из хлоридно-фторидных расплавов, безусловно, является актуальной.

**Целью работы** является научное обоснование и разработка технических и технологических решений, обеспечивающих получение лигатуры алюминий-эрбий алюминотермическим восстановлением хлоридно-фторидных расплавов с высоким выходом эрбия в лигатуру.

Для достижения поставленной цели решались **основные задачи**, связанные с проведением анализа научно-технической и патентной литературы для выбора направления исследований для получения лигатуры алюминотермическим восстановлением соединений эрбия из хлоридно-фторидных расплавов, физико-химического обоснования состава технологического флюса, термодинамического анализа металлотермического восстановления соединений эрбия из хлоридно-фторидных систем; методологическим обеспечением экспериментальных исследований, включая их планирование и обработку результатов экспериментов, выбор лабораторного оборудования, решение вопросов технологического контроля и анализа технологических продуктов, с учётом реализации принципов ресурсосбережения и безопасного осуществления процессов; установлением экспериментальных зависимостей, характеризующих влияние технологических факторов на выход эрбия в лигатуру, включая изучение особенностей фазового состава хлоридно-фторидных расплавов и определение механизма взаимодействия, и научное обоснование полученных результатов; разработкой рациональных технологических режимов получения лигатуры алюминий - эрбий на основе алюминотермического восстановления соединений эрбия из хлоридно-фторидных расплавов.

**Научная новизна работы** обоснована и заключается в следующем:

- Определена возможность осуществления процесса получения лигатуры алюминий-эрбий на основе термодинамической оценки алюминотермического восстановления эрбия в системах  $\text{ErF}_3\text{-NaF-KCl-Al}$ ,  $\text{Er}_2\text{O}_3\text{-AlF}_3\text{-NaF-KCl-Al}$  с учетом образования комплексных соединений – фторэрбиатов щелочных металлов ( $\text{NaErF}_4$ ,  $\text{KEr}_3\text{F}_{10}$  и др.) и интерметаллического соединения ( $\text{Al}_3\text{Er}$ ).

- Установлен механизм процесса, заключающийся в том, что при плавлении технологических солевых смесей (флюсов), состоящих из  $\text{ErF}_3$ ,  $\text{NaF}$ ,  $\text{KCl}$  и  $\text{Er}_2\text{O}_3$ ,  $\text{AlF}_3$ ,  $\text{NaF}$ ,  $\text{KCl}$  в хлоридно-фторидном расплаве формируются комплексные соединения  $\text{NaErF}_4$  и  $\text{KEr}_3\text{F}_{10}$  соответственно, которые при получении лигатуры являются прекурсорами для восстановления эрбия до интерметаллического соединения (ИМС)  $\text{Al}_3\text{Er}$ .

- Экспериментально определены рациональные технологические параметры, обеспечивающие получение лигатуры Al-Er алюминотермическим восстановлением хлоридно-фторидных расплавов при использовании флюсов, содержащих  $\text{ErF}_3$  и  $\text{Er}_2\text{O}_3$ , с выходом эрбия в лигатуру 92,5% и 71 % соответственно.

- Установлено влияние содержания эрбия в лигатуре в интервале от 3,4 до 6,1 мас.% на морфологию элементов структуры и микротвердость отдельных областей полученных лигатур.

**Практическая значимость работы** обоснована и заключается в следующем:

- Разработаны технологические схемы получения лигатуры алюминий-эрбий методом алюминотермического восстановления хлоридно-фторидных расплавов, содержащих фторид и оксид эрбия в качестве компонентов флюсов и включают три основные стадии: синтез фторэрбиатов щелочных металлов (прекурсоров) при плавлении солевой смеси; алюминотермическое

восстановление прекурсоров из хлоридно-фторидных расплавов с получением лигатуры Al-Er и литье полученной лигатуры.

- Выполнено технико-экономическое сравнение разработанной технологии получения лигатуры алюминий-эрбий из оксида эрбия с существующими зарубежными технологиями производства Al-Er лигатур прямым сплавлением металлического эрбия с алюминием. Рассчитано, что себестоимость лигатуры из оксида эрбия ниже себестоимости лигатуры из металлического эрбия на 436,9 - 818,8 тыс. руб./т лигатуры, что составляет около 50% от затрат на материалы.

- Разработан способ получения лигатуры алюминий-эрбий, обеспечивающий получение лигатуры с различным содержанием компонента и равномерным распределением ИМС по всему ее объему (Патент РФ № 2654222 от 17.05.2018 г.).

- Методические разработки представляют интерес для их использования при выполнении исследований применительно к аналогичным процессам и системам, в том числе при выполнении экспериментальных исследований в рамках подготовки квалификационных работ разных уровней.

**Достоверность научных положений и выводов** подтверждается соответствием известным тенденциям развития, ранее полученным результатам и разработкам в области исследований алюминиевых сплавов и лигатур, а также доказывается применением высокотехнологичных методов физико-химического анализа и обработки теоретических и экспериментальных результатов.

**Апробация работы** носит весомый характер и подтверждена докладами и обсуждением результатов на крупных научных мероприятиях всероссийского и международного уровня.

**Основное содержание работы** изложено на 153 страницах машинописного текста и содержит 37 таблиц, 74 рисунка и библиографический список из 148 наименований.

Диссертация изложена технически грамотным языком. Каждая глава содержит важные результаты научных исследований и сопровождается развернутыми выводами. Оформление работы, в целом, соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Достоинством диссертационного исследования Косова Я.И. является наличие экономического расчета, подтверждающего эффективность технологии получения лигатуры Al-Eg алюминотермическим восстановлением из хлоридно-фторидных расплавов.

Работа, в целом, вызывает положительное впечатление.

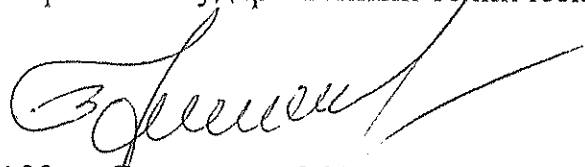
По работе имеется ряд замечаний и вопросов.

1. В тексте автореферата положения, выносимые на защиту, вынесены за пределы раздела «Содержание работы», что затруднило понимание структуры автореферата. Такая же досадная ошибка присутствует и в тексте диссертации, где научные положения изложены отдельно в выводах по главам 3 и 4. Для акцента на защищаемых положениях достаточно было их привести в выводах по работе с краткими обобщающими результатами.
2. В тексте диссертации встречается стилистическая ошибка «жидкий расплав».
3. Автор в тексте диссертации неоднократно упоминает такие технологические приемы, как легирование, микролегирование и модифицирование. Вопрос: в чем принципиальное отличие между перечисленными приемами обеспечения требуемого уровня свойств сплавов и литых изделий из них? В каком случае необходимо соблюдать принцип структурно-размерного соответствия кристаллических решеток?

Сделанные замечания носят частный характер и не снижают высокого уровня представленной диссертации.

Таким образом, диссертация Косова Ярослава Игоревича «Разработка технологии получения лигатуры алюминий-эрбий алюминотермическим восстановлением хлоридно-фторидных расплавов», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям пункта 9 Положения о присуждении ученых степеней, а автор диссертации Косов Ярослав Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

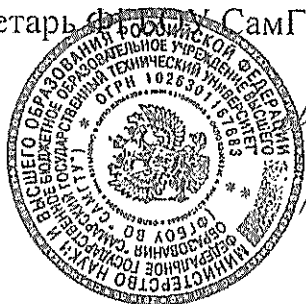
Доктор технических наук, доцент,  
декан факультета машиностроения, металлургии  
и транспорта федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Самарский государственный технический университет»



Никитин Константин Владимирович

443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 133,  
тел.: 8(846)242-27-76; e-mail: kvn-6411@mail.ru

Подпись Никитина К.В. заверяю  
Ученый секретарь факультета СамГТУ



Малиновская Юлия Александровна

76.11.181