

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Савченкова Сергея Анатольевича «Синтез магниевых лигатур при металлотермическом восстановлении соединений редкоземельных металлов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов.

### 1. Структура и объем диссертации.

Представленная диссертация включает введение, четыре главы, заключение и список литературы из 124 наименований. Работа изложена на 128 страницах машинописного текста, содержит 26 таблиц и 88 рисунков.

### 2. Актуальность темы диссертации.

Создание и экономическая эффективность способов производства новых материалов во многом предопределяет интенсивность развития современной техники и технологии. Особое значение имеют сплавы магния с редкоземельными металлами обладающие повышенными физико-механическими свойствами. Наибольший интерес вызывают интерметаллические соединения магния с неодимом, гадолинием и иттрием. Применение данных сплавов в авиастроении, ракетостроении, медицине и др. безусловно перспективно. Но важно отметить, что ограничение применения таких материалов в реальном секторе экономике зачастую связано с их высокой стоимостью, обусловленной в том числе и способом производства получаемых лигатур.

Диссертационная работа Савченкова С.А. направлена на изучение синтеза магниевых лигатур при металлотермическом восстановлении соединений редкоземельных металлов и безусловно является актуальной. В работе автор обосновывает актуальность выбранной темы ссылаясь на утвержденную Стратегию развития металлургической промышленности Российской Федерации, а также на полученные результаты проведенных

№ 345-10  
от 22.10.2019

исследований патентной активности в России и за рубежом в области производства магниевых сплавов с РЗМ. Важно, что диссертационная работа Савченкова С.А. имеет не только теоретическое, но и прикладное значение в области создания и производства магниевых лигатур, что делает работу актуальной для реальной промышленности.

### 3. Научная новизна работы:

1. Определены и обоснованы интервалы температур тепловых эффектов при плавлении компонентов солевой смеси  $KCl-NaCl-CaCl_2-MgCl_2-CaF_2-NdF_3(GdF_3)$ , а также при проведении процесса магниетермического восстановления редкоземельных металлов из подобранной солевой смеси, в том числе при вводе цинка.

2. Обоснован процесс синтеза лигатур на основе магния, заключающийся в том, что при плавлении солевой смеси, включающей в себя фториды редкоземельных металлов, образуются прекурсоры  $NaNdF_4$ ,  $Na_5Nd_9F_{32}$ ,  $Na_5Gd_9F_{32}$ , из которых восстанавливаются редкоземельные металлы до интерметаллических соединений  $Mg_xPZM_y$ .

3. Установлено, что при добавлении цинка в магниевый расплав создаются условия для снижения температуры и сокращения времени синтеза тройных лигатур  $Mg-Zn-Nd$ ,  $Mg-Zn-Gd$ , а при восстановлении соединений иттрия ( $NaYF_4$ ,  $Na_5Y_9F_{32}$ ) ввод цинка способствует повышению его выхода в лигатуру.

4. Экспериментально установлены технологические режимы, обеспечивающие получение лигатур  $Mg-Nd$ ,  $Mg-Gd$ ,  $Mg-Zn-Y$ ,  $Mg-Zn-Nd$ ,  $Mg-Zn-Gd$  магниетермическим восстановлением фторидно-хлоридных расплавов с выходом неодима и гадолиния в лигатуру до 97 %, а при получении тройных лигатур  $Mg-Zn-PZM$  - до 99,6 %.

#### **4. Практическая значимость работы:**

1) Разработан способ получения лигатуры магний-неодим (заявка на патент РФ №2019107240 от 13.03.2019) и магний-гадолиний магниетермическим восстановлением РЗМ из фторидно-хлоридного расплава.

2) Разработан способ получения тройных лигатур магний-цинк-РЗМ, обеспечивающий извлечение иттрия до 98% (патенты на изобретения РФ №2675709, №2682191), гадолиния и неодима до 99,6%.

Разработанные способы получения двойных лигатур Mg-Nd, Mg-Gd и тройных лигатур Mg-Zn-Y, Mg-Zn-Nd, Mg-Zn-Gd могут быть рекомендованы к использованию на предприятиях по производству магниевых лигатур, а результаты исследований могут быть использованы в учебном процессе.

#### **5. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

Научные положения и выводы, выдвигаемые автором, не противоречат фундаментальным закономерностям теории металлургических процессов и базовым положениям технологии производства лигатур. В работе использован широкий спектр современных физико-химических методов анализа.

Для обоснования первого защищаемого положения были выполнены обширные экспериментальные исследования, в ходе которых были установлены интервалы температур тепловых эффектов при плавлении выбранной солевой смеси, а также при проведении процесса магниетермического восстановления РЗМ из солевой смеси, установлены рациональные технологические параметры проведения синтеза лигатур магний-неодим, магний-гадолиний. Доказано, что при выдерживании необходимых технологических параметров (отношение фторид РЗМ: хлориды = 1:4,  $T = 730-740^{\circ}\text{C}$ , время выдержки = 30 минут, скорость перемешивания = 100 об./минуту) обеспечивается выход неодима и

гадолия в лигатуру от 95 до 97%. Анализ микроструктуры показал, что полученные лигатуры характеризуются равномерным распределением интерметаллических соединений в объеме магниевой матрицы.

Обоснованность второго защищаемого положения обеспечивается результатами проведенных термических исследований процесса синтеза тройных лигатур магний-цинк-РЗМ, а также исследованиями влияния технологических факторов на степень извлечения неодима, гадолия и иттрия. Равномерное распределение тройных интерметаллических соединений  $Mg_xZn_yPzM$  подтверждается результатами металлографического исследования тройных лигатур.

#### **6. Апробация работы.**

Результаты диссертационной работы были представлены на конференциях Международного и Всероссийского уровня (Российская конференция молодых научных сотрудников «Физико-химия и технология неорганических материалов» (ИМЕТ РАН); IX конференция молодых ученых по общей и неорганической химии (ИОНХ РАН); научно-технической конференции «Металловедение и современные разработки в области технологий литья, деформации и антикоррозионной защиты легких сплавов» (ФГУП «ВИАМ» и др.)

По теме диссертационной работы опубликовано 11 научных работ, в том числе, в журналах, индексируемых в международной базе данных Scopus, в журналах, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России, получены патенты на изобретения. Приведенные в диссертации и автореферате опубликованные работы Савченкова С.А. соответствуют теме диссертации.

#### **7. Замечания и вопросы по диссертации**

Рассматриваемая диссертация представляет безусловный интерес в научном плане и имеет практическую значимость для металлургических

компаний, производящих лигатуры. Полученные в диссертации результаты соответствуют поставленным задачам. Структура диссертации и автореферата имеют логическую последовательность, ясность и полноту изложения.

Однако по содержанию работы имеется ряд замечаний и вопросов.

1. в тексте допущен ряд неточностей и опечаток: не указана зона III при определении содержания компонентов по длине чушки (таблица 3.7), в составе солевой смеси указан моно фторид кальция (Рисунок 3.24), не указано в каких процентах (моль. или масс.) определяется содержание компонентов солевой смеси (стр. 40);

2. Какие требования предъявляются к качеству (содержание примесей) исходных компонентов, участвующих в процессе металлотермического восстановления РЗМ?

3. Поясните фазовый состав солевой смеси (рис. 3.3), полученной после плавления?

4. Поясните влияние температуры на процесс восстановления неодима и гадолиния (рисунок 3.19)?

5. Образуется ли в процессе восстановления шлак и каким образом он в последующем утилизируется?

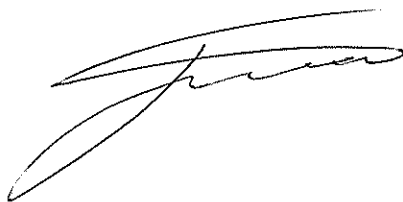
Следует отметить, что указанные замечания не умаляют достоинств диссертационной работы и являются предметом дискуссии.

## **8. Заключение по диссертационной работе**

Диссертация Савченкова Сергея Анатольевича «Синтез магниевых лигатур при металлотермическом восстановлении соединений редкоземельных металлов» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему, имеющую научную и практическую ценность, которая в полной мере соответствует критериям, установленным п.2 «Положения о присуждении ученых степеней

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» (утверждено приказом ректора Горного университета от 26.06.2019 №839 адм), а ее автор – **Савченков Сергей Анатольевич** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Официальный оппонент, кандидат технических наук,  
директор Муниципального автономного учреждения  
«Уральский инновационный молодежный центр»

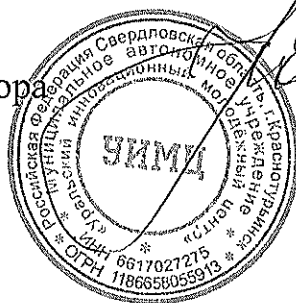


Белоусов Михаил Викторович

624440, Свердловская область,  
г. Краснотурьинск, ул. Ленина, д. 41;  
тел. +7-902-878-26-71  
e-mail: uralimc@mail.ru

Подпись Белоусова Михаила Викторовича, кандидата технических наук,  
удостоверяю:

Заместитель директора



Д.Н. Колесник

18.10.2019