

## ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук, профессора Ворожцова Александра Борисовича на диссертационную работу Гутема Ендалкачеу Мосиса на тему: «Разработка технологии получения алюминиевых сплавов, армированных карбидокремниевыми частицами», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия чёрных, цветных и редких металлов

### 1. Актуальность темы исследований

Развитие автомобиле- и судостроения, авиакосмической, автомобильной, судостроительной, энергетической, оборонной, газо- и нефтедобывающей промышленности, обуславливает запрос в новых легких, пластичных, прочных, хорошо свариваемых металлических композиционных материалах, в частности, в сплавах на основе алюминия, модифицированных и упрочненных частицами карбида кремния (SiC). Эти композиты представляют несомненный интерес. Разработка новых способов введения флюосмачивающихся алюминиевым расплавом частиц, с целью придания конечным композициям на основе сплавов алюминия уникальных прочностных и других функциональных свойств имеет признаки фундаментального исследования, хотя и является в большей степени прикладным, направленным на потребности Индустриального партнера. Поэтому экспериментальная и теоретическая работа диссертанта, направленная на получение новых количественных данных о роли использования флюосов из отработанной футеровки алюминиевых электролизеров и предварительная обработка карбида кремния магнием для улучшения процессов смачивания жидким металлическим алюминием являются важными, актуальными и востребованными промышленностью. Полученные количественные данные служат исходной базой для организации и проектирования инновационных технологических способов получения лигатур и композиционных материалов алюминия, упрочненных частицами карбида кремния.

№ 391-10  
от 08.11.2015

## **2. Научная новизна в рамках требований к диссертационной работе**

Получены закономерности распределения по крупности зерна для частиц фторидов и частиц SiC после их механической обработки и активации, произведенных из дробленой карбидокремниевой футеровки алюминиевых электролизеров (до и после сплавления с магнием). Установлен уровень смачиваемости, площадь покрытия и состояние поверхности до и после обработки частиц SiC магниевым расплавом, и обоснованы условия для их последующего ввода в алюминиевую матрицу. Выявлено влияние содержания магния и карбида кремния на структуру и механические свойства заготовок, а также выявлен уровень анизотропии лигатур, армированных фторированными частицами SiC, предварительно покрытых магнием.

## **3. Степень обоснованности и достоверности научных положений**

Диссертационная работа включает разделы, необходимые для её оценки, во введении изложены научная новизна и актуальность работы, цели, задачи, объекты исследования, практическая значимость. Краткий обзор литературы и современное состояние проблематики исследований описаны достаточно полно. Экспериментальная часть содержит описание установок, методик проведения измерений, используемый приборный парк, способы обработки результатов.

Работа состоит из четырех глав, изложенных на 107 стр., включая 31 рис., 14 табл., списка литературных источников из 103 наименований.

Результаты работы обсуждены на международных конференциях и российских и международного уровня, опубликованы в 4 научных статьях в журналах, рекомендованных ВАК, 3 из которых в международной базе данных SCOPUS.

## **4. Оценка содержания диссертационной работы**

Первая глава посвящена анализу характеристик алюминиевых сплавов, рассмотрены возможности получения композиционных материалов на основе алюминия, обоснован выбор карбида кремния в качестве армирующего агента. Этими исследованиями были поставлены задачи по изучению процессов взаимодействия карбидокремниевых частиц в алюминиевом сплаве для

создания матричного каркаса и получения равномерной зерновой структуры с целью получения литых изделий с высокими механическими свойствами.

Диссертант во второй главе отмечает, что необходима тщательная подготовка материалов для получения качественных лигатур, для этого проводился ряд мероприятий. После измельчения и классификации карбида кремния из отработанной футеровки алюминиевых электролизеров изучались: химический состав, форма и площадь поверхности, проводились механические испытания полученных образцов алюмо-матричных сплавов ( $\sigma_b$ ,  $\sigma_0$ ,  $\gamma$ ,  $\psi$  твердость, относительное удлинение) при согласовании со структурными изменениями на макро и микроуровне были выполнены в лаборатории Эфиопского технического университета на разрывных машинах и динамическом микротвердомере DUH-211S (SHIMADZU, Япония), а для определения равномерного распределения в алюминии карбидокремниевых частиц проводилось электронно-рентгеноскопическое и СЭМ исследования.

В третьей главе подробно изложена технология получения алюминиевых композитов, армированных частичками карбида кремния. Показано, что максимальная смачиваемость частиц карбида кремния магниевым расплавом на уровне 75-85% обеспечивается при размере вводимых частиц 400-600 мкм, при применении флюса определённого содержания: 1,5 % фторида натрия, 0,5 % фторида кальция, 2,2 % фторида алюминия, и рабочей температуре процесса 620-650 °С. Экспериментально обоснованы показатели, которые помогают достигнуть однородного распределения частиц в матрице, а также высокой межфазной прочности сцепления обеспечиваемых высоким уровнем смачиваемости.

В четвертой главе автор достаточно подробно останавливается на анализе (рентгеновский, микроскопии и др.) полученных образцов. По результатам механических испытаний установлено увеличение многих характеристик, по сравнению с образцами из алюминиевых сплавов, и добавление магния вместе с карбидом кремния увеличивает прочность на растяжение до 180 МПа.

Опыты показали, что сплав на основе алюминия, в зависимости от состава вводимого компонента и расположения его в структуре может существенно

улучшать свойства конечного изделия. Так, для алюминиевого сплава с частицами карбида кремния модуль Юнга может иметь величину от 200 и 400 ГПа, а предел текучести до 600 МПа.

Диссертант выполнил подробное исследование микроструктуры введенных частиц SiC в образцах сплавов с алюминием, полученных различными способами.

Многие моменты в диссертационной работе с точки зрения экспериментальных измерений и современной трактовки полученных результатов выполнены автором впервые и несомненно являются достоинством выполненного исследования.

После внимательного прочтения и изучения диссертационной работы у меня, как официального оппонента, создалось двойственное впечатление. С одной стороны, представлен большой объем исследований механических свойств востребованных лигатур и композитов, направленных на решение важных практических задач, с другой присутствует ощущение, что автору не удалось чётко и ясно донести до читателя сложность и трудоемкость экспериментального выполнения измерений со сложными объектами и многофазными системами. Полновесность предложенных интересных способов решения прикладных вопросов также несколько теряется вследствие краткости их представления.

#### **5. Вопросы и замечания по диссертационной работе:**

1. Работа существенно бы выиграла, если бы диссертант попытался установить закономерности изменения некоторых механических и физико-химических свойств, например, как влияет степень растворимости оксидов алюминия и магния в солевых системах флюса на смачиваемость карбида кремния.

2. Автор в тексте диссертационной работы многократно упоминает флюс из фторидных солей из отработанной футеровки алюминиевых электролизёров. Однако, количество получаемого флюса, а также вводимого дополнительно, и состав конечного шлака нигде подробно не указаны.

3. На стр.31 не корректно указано, что составляющие футеровки фториды

магния и кальция водорастворимы. Водорастворимы не их фториды, а другие соли, которые образуются из их фторидов в процессе электролиза алюминия.

4. На стр. 42 к достоинствам карбидкремниевых материалов приписывается их повышенная теплопроводность, что часто достоинством не является.

5. Имеются вопросы по тексту изложения диссертационной работы: неудачные стилистические выражения, неправильный подбор отдельных слов в предложениях, искажающих и затрудняющих понимание написанного.

6. Также есть ряд вопросов к диссертанту непосредственно по работе:

а) Не может ли повлиять введение в композит 10-16% SiC+Mg на коэффициент линейного расширения и привести к разрушению образца?

б) Устойчивость оболочки магния на частице SiC выявляется только на частицах 400-600 мкм или распространяется на более мелкие частицы?

в) Рассматривались ли другие виды (способы) формообразования кроме жидкой штамповки, например, литье в кокиль, литьё под давлением?

г) Имеется ли информация о жидкотекучести композита при оптимальном содержании SiC и Mg?

Также, на мой взгляд, целесообразно использовать лигатуры при выплавке магниевых сплавов, применение карбида в оболочке магния при введении в магниевый сплав может быть шире, чем при введении в алюминиевые сплавы.

Указанные замечания и вопросы не ставят под сомнение качество и основное содержание выполненной работы, ценность полученных результатов и выводов, и скорее являются пожеланиями.

## **6. Заключение**

Представленная диссертационная работа оставляет очень хорошее впечатление, является законченной научно-квалификационной работой, содержит новые научные результаты и технические решения, имеющие важное практическое значение.

Диссертационная работа Гутема Ендалкачеу Мосиса соответствует паспорту специальности 05.16.02 – Metallургия чёрных, цветных и редких

металлов и в полной мере соответствует критериям, установленным разделом 2 «Положения о присуждении ученых степеней федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Горного университета от 26.06.2019 № 839адм, а ее автор – Гутема Ендалкачеву Мосиса заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия чёрных, цветных и редких металлов.

**Официальный оппонент,**

**Проректор по научной и инновационной деятельности**

**Национального исследовательского**

**Томского государственного университета,**

**доктор физико-математических наук, профессор**



**Александр Борисович Ворожцов**

«17» октября 2019 г.

Подпись А. Б. Ворожцова удостоверяю

Ученый секретарь Ученого совета ТГУ



Н. А. Сазонтова

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Национальный исследовательский  
Томский государственный университет»*

*Адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, [www.tsu.ru](http://www.tsu.ru)*

*Телефон: +7 (3822)52-95-78*

*E-mail: [abv@mail.tomsknet.ru](mailto:abv@mail.tomsknet.ru)*