



САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
SAMARA UNIVERSITY

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева»

ул. Московское шоссе, д. 34, г. Самара, 443086
Тел.: +7 (846) 335-18-26, факс: +7 (846) 335-18-36
Сайт: www.ssau.ru, e-mail: ssau@ssau.ru
ОКПО 02068410, ОГРН 1026301168310,
ИНН 6316000632, КПП 631601001

04.06.2018 № 104-2986

УТВЕРЖДАЮ

Ректор

член-корреспондент РАН, д.т.н.,



профессор Шахматов Е.В.

2018 года

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ
на диссертационную работу Терентьева Никиты Анатольевича
«Исследование и разработка литейных технологий при получении
дисперсно-упрочненных алюминиевых сплавов», представленную
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.16.04 – Литейное производство

Актуальность темы диссертации

Развитие современной техники требует создания сплавов, надежно работающих в условиях повышенных нагрузок и температур. Разработка алюминиевых сплавов, отвечающих этим требованиям, является перспективным направлением литейного производства.

С другой стороны, существующие металлические материалы и сплавы на основе алюминия в значительной мере достигли своего предела эксплуатационных характеристик. Поэтому исследования в области разработки композиционных сплавов путем дисперсного упрочнения матрицы является весьма актуальными. Степень упрочнения зависит от вида частиц, их объемной концентрации и равномерного распределения. В рассматриваемой работе эти задачи решаются с применением специальных армирующих лигатур, в процессе приготовления которых синтезируются упрочняющие частицы заданного состава, формы и размеров. Применение армирующих лигатур для получения дисперсно-упрочненных сплавов не требует высокого перегрева алюминиевой основы и дает более стабильные результаты.

В связи с этим поставленная и успешно решенная в диссертационной работе задача по разработке комплекса технических и технологических ре-

шений для получения армирующих лигатур и их применения для деформируемых алюминиевых сплавов, обеспечивающих повышение механических свойств, является актуальной.

Структура и содержание работы

Представленная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений, изложена на 114 страницах машинописного текста.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, приведены цели и задачи работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, и их научная новизна.

В первой главе проведен анализ современных направлений повышения эксплуатационных свойств алюминиевых сплавов, как в литом, так и в деформированном состоянии. Показано, что возможности упрочнения алюминиевых сплавов за счет легирования, термической и деформационной обработки в значительной мере исчерпаны и не могут конкурировать с композиционными материалами. Выполненный обзор отображает преимущества и недостатки представленных направлений. Сделан вывод о том, что повышение эксплуатационных свойств алюминиевых сплавов является актуальной задачей и требует дальнейших исследований.

В второй главе приведена методика проведения экспериментов и исследований эксплуатационных свойств дисперсно-упрочненных композиционных сплавов, а также показатели качества армирующих лигатур и особенности технологии приготовления сплавов с их использованием. Исследования выполнены с применением современного оборудования: синхронный термический анализатор STA 449C, дифрактометр BRUKER D8 ADVANCE, универсальная вакуумная установка «Капля» и др.

В третьей главе представлены результаты исследования по выбору исходных компонентов для синтеза заданных дисперсных упрочняющих фаз в реакциях *in-situ*, а также рассмотрены особенности технологии производства дисперсно-упрочненных алюминиевых сплавов электротехнического назначения. В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований выявлены предпочтительные температуры для синтеза упрочняющих фаз. Термодинамическая устойчивость образующихся дисперсных систем доказана с привлечением теории поверхностных явлений, в частности, способностью упрочняющих частиц укрупняться при соударениях.

Методом лежащей капли исследовано смачивание расплавом алюминия ряда карбидов переходных металлов на универсальной установке «Капля». В результате исследования смачивания частиц упрочняющей фазы расплавом на основе алюминия установлена невозможность их коагуляции, что обуславливает термодинамическую устойчивость дисперсной системы.

Предварительные исследования показали возможность целенаправленного синтеза карбидных и боридных упрочняющих фаз непосредственно в процессе плавки и литья. Результаты термодинамического анализа подтверждены на опытных образцах, изготовленных из дисперсно-упрочненных алюминиевых сплавов. Исследование микроструктуры всех дисперсно-упрочненных алюминиевых сплавов с разным содержанием упрочняющих фаз показало их равномерное распределение в объеме матрицы.

В четвертой главе приведены исследования по разработке армирующих лигатур и по их применению для повышения эксплуатационных свойств деформируемых алюминиевых сплавов. С применением системы компьютерного моделирования ProCAST выполнен сравнительный анализ процессов теплообмена на границе расплав-металлическая форма при различных условиях литья и охлаждения лигатурных сплавов. Установлено, что скорость охлаждения расплава при переходе от литья в стальной кокиль к медному кокилю, охлаждаемого водой, и к литью в воду с применением гранулятора повышается соответственно в 2-2,5 и 2-3 раза, при этом размер упрочняющей фазы изменяется от 1-2 мкм до 0,25-1,5 мкм и менее 1 мкм соответственно.

Параллельно был выполнен термический анализ сплавов на установке STA 449 Jupiter, который позволил установить, что измельчение зерна зависит от интервала кристаллизации сплава. Кроме того об этом свидетельствуют результаты металлографических исследований.

В работе показано, что применение армирующей лигатуры системы Al-B-C наряду с повышением механических свойств, способствует также снижению электросопротивления алюминиевых сплавов электротехнического назначения. Механические свойства термически необработанных прессованных полуфабрикатов из алюминиевых деформируемых сплавов системы Al-Mg-Si при упрочнении армирующими лигатурами сопоставимы со свойствами профилей прошедших упрочняющую термическую обработку (старение).

В заключении представлены основные выводы и результаты работы.

В целом, работа изложена технически грамотным языком. Каждая глава содержит важные результаты научных исследований автора и сопровождается развернутыми выводами. Общее оформление работы соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Научная новизна

Работа содержит ряд новых научных результатов, полученных в ходе исследований и имеющих важное значение для науки:

- получены новые научные знания в области обоснованного выбора исходных компонентов для жидкофазного реакционного синтеза упрочняющих фаз в расплаве алюминия и возможности их равномерного распределения в литой матрице;

- на основании теоретических и экспериментальных исследований взаимодействия компонентов расплавов систем Al-Ti(Zr)-C и Al-B-C в интервале температур 700-1200°C доказана возможность образования упрочняющих фаз TiC, ZrC и C₂Al₃B₄₈;
- показано, что при упрочнении алюминия армирующей лигатурой системы Al-B-C дополнительно снижается его электросопротивление за счет рафинирующего эффекта бора;
- подтверждено, что армирующие лигатуры при получении деформируемых алюминиевых сплавов обладают модифицирующей способностью и одновременно армируют металлическую матрицу.

Практическая значимость

К наиболее значимым практическим результатам диссертационного исследования следует отнести следующие:

- разработан литой композиционный материал на основе алюминия и способ его получения, защищенный патентом РФ №2516679;
- разработаны технологические режимы получения армирующих лигатур систем Al-Ti(Zr)-C и Al-B-C для производства дисперсно-упрочненных алюминиевых сплавов;
- разработаны технические рекомендации для получения дисперсно-упрочненных сплавов на основе алюминия с применением армирующих лигатур.

Практическая значимость диссертационной работы Терентьева Н.А. подтверждена тем, что результаты исследований внедрены в учебный процесс при подготовке магистров по направлению 22.04.02 «Металлургия», 22.04.01 «Материаловедения и технологии материалов» и аспирантов по специальности 05.16.04 – Литейное производство.

Обоснованность и достоверность полученных результатов не вызывает сомнения и обусловлены применением современного оборудования и аналитических методов исследования, большим объемом выполненных экспериментов и испытаний.

Анализ содержания диссертации, опубликованных работ, в том числе работ, опубликованных в соавторстве, показал, что все научные положения, выносимые на защиту, выводы и рекомендации принадлежат диссидентанту.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Полученные в работе научные и практические результаты следует рекомендовать к использованию при производстве литых и катаных полуфабрикатов дисперсно-упрочненных алюминиевых на предприятиях алюминиевой отрасли, например, АО «Арконик СМЗ», ОАО «Каменск-Уральский ме-

таллургический завод», ООО «Красноярский металлургический завод», ООО «Литейно-прессовый завод «СЕГАЛ» и др.

Экспериментальные данные о потенциальных преимуществах разработанных дисперсно-упрочненных сплавов свидетельствуют о необходимости продолжения работы по их освоению и внедрению в высокотехнологичных отраслях промышленности.

Оценка содержания диссертации

Объем и содержание диссертационной работы по степени научной новизны и практической значимости удовлетворяет требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Анализ содержания диссертационной работы убеждает в ее завершенности. Содержание диссертации изложено грамотно, в логической последовательности, а принятая терминология и стиль изложения соответствует общепринятым нормам. Диссертационная работа соответствует специальности 05.16.04 – Литейное производство.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы и ее основные положения.

Подтверждение основных результатов диссертации в научной печати

Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены в рамках 7 научно-технических конференций. Основные результаты диссертации опубликованы в 9 научных работах, в том числе 3 работы, опубликованы в рецензируемых изданиях, имеется патент РФ.

Замечания по диссертационной работе

Диссертация выполнена на достаточно высоком научно-методическом уровне. Вместе с тем, по диссертационной работе Терентьева Н.А. имеются следующие замечания:

1. В начале третьей и четвертой глав присутствует литературный обзор, который было бы логичным перенести в специально отведенную для этого первую главу.
2. В работе для синтеза армирующих частиц используется наноразмерный графит, однако, нигде не указаны его характеристики, которые, очевидно, должны влиять на конечные свойства частиц.
3. В четвертой главе, например, в таблице 4.1 следовало бы привести содержание интерметаллидных и боридных включений, которые, как следует из результатов металлографического и рентгенофазового анализа, присутствуют в армирующих лигатурах помимо основных упрочняющих фаз.
4. На основании результатов механических испытаний дисперсно-упрочненных алюминиевых сплавов следовало бы указать рекомендуемые области их применения.

Указанные замечания не снижают ценность и общую положительную оценку диссертационной работы, не влияют на основные научные и практические результаты и не затрагивают основных положений, выносимых соискателем на защиту.

Заключение

Диссертационная работа Терентьева Никиты Анатольевича содержит решение актуальной научно-технической задачи в области литьевого производства, связанной с разработкой новой технологии получения деформируемых дисперсно-упрочненных алюминиевых сплавов. Научная ценность работы определяется предлагаемым способом получения деформируемых дисперсно-упрочненных алюминиевых сплавов, а именно – использованием армирующих лигатур. Практическая значимость работы определяется разработкой технологических режимов получения армирующих лигатур и рекомендаций для производства дисперсно-упрочненных алюминиевых сплавов с применением армирующих лигатур.

Таким образом, диссертация является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, в которой содержатся новые технические и технологические решения, позволяющие производить дисперсно-упрочненные алюминиевые сплавы.

Работа является актуальной, полученные результаты обладают научной новизной, обоснованы на современном научном уровне, описывают законченный этап исследований. Достоверность изложенных в диссертации результатов подтверждается использованием современных методик исследования, применением статистической обработки и опробованием в условиях действующего производства.

В целом, диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 05.16.04 – Литейное производство; содержание автореферата соответствует содержанию диссертации и в необходимом объеме отражает ее основные результаты и выводы; результаты работы достаточно полно освещены в научной печати.

Все перечисленное дает основание считать, что представленная диссертационная работа Терентьева Н.А., несмотря на отдельные замечания не-принципиального характера, соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842 (ред. от 02.08.2016 г.). Автор диссертации, Терентьев Никита Анатольевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.04 – Литейное производство.

Отзыв на кандидатскую диссертацию Терентьева Никиты Анатольевича «Исследование и разработка литейных технологий при получении дисперс-

но-упрочненных алюминиевых сплавов» подготовил профессор, д.т.н. Михеев Владимир Александрович.

Настоящий отзыв обсужден и утвержден на заседании кафедры обработки металлов давлением федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет) (протокол №8 от 29.05.2018 г.), на котором присутствовало 18 научно-педагогических работников, проголосовавших единогласно за утверждение данного отзыва.

**Заведующий кафедрой
обработки металлов давлением,
академик РАН,
доктор технических наук, профессор**

Гречников Федор Васильевич

1 июня 2018 г.

Контактные данные:
Почтовый адрес: 443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, д. 34
Телефон: +7(846) 334-09-04, e-mail: gretch@ssau.ru