

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента на диссертационную работу  
Терентьева Никиты Анатольевича на тему «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»**

Кандидатская диссертация изложена на 114 страницах, включая 18 таблиц, 32 рисунка, список литературы из 127 наименований и 3 приложения.

Алюминиевые сплавы находят широкое применение в энергетике, транспорте, строительстве и других отраслях промышленности. Увеличение доли изделий из алюминиевых сплавов требует разработки новых высокоэффективных технологий, обеспечивающих повышение их прочности, термостабильности, надежности и долговечности. Известным и эффективным способом повышения прочности и эксплуатационной надежности изделий из алюминиевых сплавов является модифицирование их структуры. Альтернативным направлением является создание особого класса новых гетерофазных материалов, в основе получения которых лежит синтез упрочняющих фаз непосредственно в расплаве. Однако данный подход требует совершенствования и дополнительных исследований, так как для синтеза дисперсных частиц в расплаве требуется его высокий перегрев, что обуславливает повышенные угар, окисление металла и энергозатраты. В связи с этим, совершенствование технологии получения дисперсно-упрочненных сплавов на основе алюминия является актуальной задачей.

Актуальность работы Терентьева Н.А. подтверждается тем, что исследования выполнялись в рамках государственной программы Российской Федерации «Развитие науки и технологий» на 2013-2020 годы от 20 декабря 2012 г.

**Основной целью работы** является разработка комплекса технических решений для получения дисперсно-упрочненных алюминиевых сплавов с применением армирующих лигатур, содержащих микроразмерные частицы упрочняющих фаз, синтезированные в расплаве.

Для достижения поставленной цели решались **основные задачи**, связанные с термодинамическим обоснованием исходных компонентов для синтеза в расплаве алюминия упрочняющих фаз заданного состава; оценкой устойчивости образующихся дискретных систем с микроразмерными частицами; исследованием процессов формирования структуры и свойств дисперсно-упрочненных алюминиевых сплавов в литом и деформированном состояниях; разработкой технологических режимов получения армирующих

лигатур на основе алюминия, содержащих микроразмерные частицы упрочняющих фаз; получением литых и деформированных заготовок из дисперсно-упрочненных алюминиевых сплавов с применением армирующих лигатур.

**Научная новизна исследований** включает в себя: обоснование выбора исходных компонентов для жидкотекущего реакционного синтеза упрочняющих фаз в расплаве алюминия и возможности их равномерного распределения влитой матрице; получение композиционного сплава электротехнического назначения, который не требует термической обработки для достижения заданного комплекса свойств за счет одновременного рафинирования технического алюминия бором и его упрочнения частицами  $C_2Al_3B_{48}$ , образующимися в реакциях *in-situ*; выявление взаимосвязи фазового состава, формы и величины структурных составляющих с условиями литья лигатурных сплавах систем  $Al-Ti(Zr)-C$ ,  $Al-B-C$ ; объяснение причин упрочнения деформируемых сплавов на основе алюминия армирующими лигатурами за счет введения в расплавы микроразмерных частиц  $ZrC$ ,  $TiC$ ,  $C_2Al_3B_{48}$ , которые выполняют роль дополнительных центров кристаллизации алюминиевого твердого раствора с одновременным армированием металлической матрицы.

**Практическая значимость** работы заключается в разработке литого композиционного материала на основе алюминия и способа его получения; разработке технологических режимов получения армирующих лигатур систем  $Al-Ti(Zr)-C$ ,  $Al-B-C$  для производства дисперсно-упрочненных алюминиевых сплавов; разработке рекомендаций на получение дисперсно-упрочненных сплавов на основе алюминия с применением армирующих лигатур с целью изготовления из них литых и деформируемых полуфабрикатов без термической обработки; во внедрении и использовании результатов исследований в учебном процессе ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» для подготовки магистров по направлению 22.04.02 «Металлургия», 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов» и аспирантов по специальности 05.16.04 «Литейное производство».

**Достоверность научных результатов** обоснована достаточным объемом экспериментальных исследований, которые имеют удовлетворительную сходимость с теоретическими данными и не противоречат исследованиям других авторов. В ходе исследования использовалось современное аналитическое оборудование.

**Основное содержание** работы отражено в 9 печатных работах, в том числе в 3 статьях в рецензируемых научных журналах, рекомендуемых ВАК РФ и в 1 патенте на изобретение.

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи работы, научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

**В первой главе** проведен анализ известных способов получения композиционных и дисперсно-упрочненных материалов. Сделаны выводы, что многие способы порошковой металлургии и некоторые литейные технологии не

применимы для серийно-промышленного производства, а так же требуют специального дорогостоящего оборудования и необходимых навыков по его использованию. Обосновано, что одним из наиболее перспективных методов получения композиционных материалов является метод получения литых металломатричных композиционных материалов, упрочненных армирующими компонентами. Для формулировки целей и задач диссертационного исследования был привлечен достаточный объем информации по тематике исследования, включая современные публикации в ведущих зарубежных и отечественных журналах.

*Во второй главе* представлены основные объекты исследований, методики приготовления сплавов и лигатур, а также научное оборудование и методы исследований.

*В третьей главе* дан анализ современных алюминиевых сплавов электротехнического назначения; обобщены теоретические основы создания алюмоматричных композиционных сплавов; определены температурные зависимости энергии Гиббса и константы равновесия реакций образования упрочняющих фаз на основе карбидов титана, циркония, бора, хрома, алюминия, а также алюминида титана и борида алюминия. На основании выполненного анализа сделан вывод о возможности синтеза тугоплавких упрочняющих фаз в широком интервале температур. Приведены результаты исследований по смачиванию жидким алюминием подложек из ряда карбидов (бора, титана, циркония) в интервале температур. Исследовано влияние армирования на механические и электрические свойства алюминия марки А6.

*Четвертая глава* посвящена разработке технологических параметров получения армирующих лигатур и исследованию их влияния на структуру и свойства алюмоматричных дисперсно-упрочненных сплавов. Приведены результаты влияния скорости охлаждения на микроструктуру, а также выполнен фазовый анализ лигатур систем Al-B-C, Al-Zr-C и Al-Ti-C. Представлены результаты моделирования процессов теплообмена при получении армирующих лигатур, а также термический анализ алюминиевых сплавов, упрочненных эндогенными фазами. Исследовано влияние армирующих лигатур на свойства деформируемых алюминиевых сплавов системы Al-Mg-Si.

Работа 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. Основные положения, приведенные в автореферате, полностью соответствуют тексту диссертации.

По работе имеется ряд замечаний и вопросов.

1. В п. 2 научной новизны сказано «...за счет рафинирования технического алюминия бором...». Возникает вопрос: за счет чего происходит очистка алюминия от неметаллических включений при введении в него добавок бора, каков механизм такого рафинирования?

2. Вызывает сомнение п. 4 научной новизны, который заключается в подтверждении (по терминологии автора) известных механизмов упрочнения.
3. По какому механизму происходит синтезирование *in-situ* упрочняющих фаз в расплаве алюминия? В чем отличия (если они имеются) от известного СВС-процесса?
4. Главы 3 и 4 изобилуют обзорами и анализами литературных источников. Однако, для этого служит аналитическая глава 1, посвященная литературному анализу по исследуемой проблематике.
5. На стр. 57 текста диссертации в подрисуночной подписи к рис. 3.5 отсутствует слово. В примечании к табл. 3.3 (стр. 57) одним из свойств указана электропроводность, однако в скобках, как и в голове таблицы обозначено электросопротивление. Какое конкретно свойство имел в виду автор?
6. Непонятно для чего в подразделе 4.1 приводится анализ модифицирующих лигатур для алюминия, когда основная тема исследования - «получение армирующих лигатур и дисперсно-упрочненных алюминиевых сплавов».
7. На рис. 4.2-4.4 представлены микроструктуры лигатур без указания их концентрационных составов, хотя из табл. 4.1 видно, что на каждую систему исследовалось по 4 состава. Это же замечание относится и к рис. 4.5-4.7.
8. Отсутствует количественная оценка зависимости размеров армирующих фаз в лигатурах от условий их кристаллизации.
9. Из дальнейшего описания не ясно, как влияли лигатуры, полученные при разных скоростях охлаждения на эффективность дисперсного упрочнения алюминиевых сплавов.
10. Результаты механических испытаний сплава АД31, упрочненного добавками различных армирующих лигатур, в целом, не влияют на предел прочности и пластичность сплава (табл. 4.8). Возникает вопрос: на основании чего делается вывод о возможной альтернативы разработанных лигатур по сравнению с прутковой модифицирующей лигатурой Al-5Ti-1B?

Следует отметить, что выявленные в работе недостатки не снижают научную и практическую значимость выполненных исследований. Это обусловлено тем, что в работе применялось современное аналитическое оборудование, компьютерное моделирование, дифференциально-термический анализ.

Таким образом, диссертационная работа Терентьева Н.А. содержит важные научные результаты по влиянию дисперсного упрочнения на структуру и свойства алюминия, а также его сплава системы Al-Mg-Si.

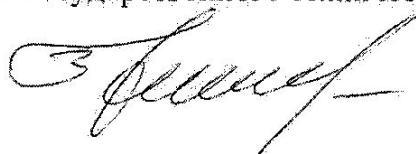
Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 05.16.04 «Литейное производство».

Диссертация Терентьева Н.А. является законченной научно-

квалификационной работой. Представленная диссертационная работа Терентьева Н.А. соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

Автор диссертации, Терентьев Никита Анатольевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.04 - Литейное производство.

Официальный оппонент, д.т.н.,  
Доцент кафедры «Литейные и высокоэффективные технологии», декан  
факультета машиностроения, металлургии и транспорта,  
Самарского государственного технического Университета



Никитин Константин Владимирович

30 мая 2018 г

Тел. 8(846)333-61-01; e-mail: [kvn-6411@mail.ru](mailto:kvn-6411@mail.ru)

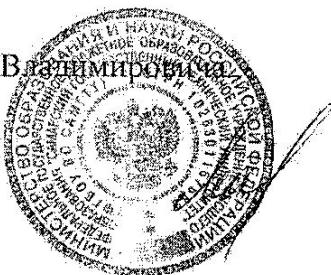
Служебный адрес: Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244,  
главный корпус ФГБОУ ВО СамГТУ. Тел. 8 (846) 242-27-76;  
E-mail: [dek-fmiat@yandex.ru](mailto:dek-fmiat@yandex.ru)

Подпись Никитина Константина Владимировича

заверяю

Ученый секретарь СамГТУ,

д.т.н.



Ю.А. Малиновская