

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.252.04,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВА-
НИЯ «СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»,
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 13 сентября 2022 г., протокол № 21
о присуждении Загуляеву Дмитрию Валерьевичу, гражданину РФ, ученой
степени доктора технических наук

Диссертация «Модификация структуры и свойств алюминия и доэвтектических силуминов методами электронно-ионно-плазменных и магнитных воздействий» по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния принята к защите 27 мая 2022 г. (протокол заседания № 15) диссертационным советом Д 212.252.04, созданном на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет», Министерство науки и высшего образования РФ, 654007, РФ, Кемеровская область – Кузбасс, г. Новокузнецк, Центральный район, ул. Кирова, стр. 42, приказ № 1060-398 от 21.05.2010 г.

Соискатель Загуляев Дмитрий Валерьевич, 1985 года рождения. Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Влияние слабых магнитных полей на микротвердость и ползучесть алюминия» защитил в 2011 году в диссертационном совете Д 212.252.04, созданном на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Сибирский государственный индустриальный университет», Министерство образования и науки РФ.

Работает заместителем начальника Управления научных исследований и доцентом кафедры естественнонаучных дисциплин имени профессора В.М. Финкеля в ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре естественнонаучных дисциплин имени профессора В.М. Финкеля в ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», Министерство науки и высшего образования Россий-

ской Федерации и ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научные консультанты – доктор физико-математических наук, профессор Громов Виктор Евгеньевич, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», кафедра естественнонаучных дисциплин имени профессора В.М. Финкеля, заведующий кафедрой; доктор технических наук, профессор Коновалов Сергей Валерьевич, ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева», заведующий кафедрой технологии металлов и авиационного материаловедения».

Официальные оппоненты:

Белов Николай Александрович – доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»» (НИТУ «МИСИС»), кафедра обработки металлов давлением, профессор кафедры.

Курзина Ирина Александровна – доктор физико-математических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет» (НИ ТГУ), кафедра природных соединений, фармацевтической и медицинской химии, заведующий кафедрой.

Иванов Константин Вениаминович – доктор физико-математических наук, ФГБУН «Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук» (ИФПМ СО РАН), ведущий научный сотрудник,

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина», г. Тамбов в своем положительном отзыве, подписанном заслуженным деятелем науки РФ, Головиным Юрием Ивановичем д.ф.-м.н., профессором, директором НИИ «Нанотехнологии и наноматериалы» ТГУ имени Г.Р. Державина, и утвержденном кандидатом экономических наук, доцентом Моисеевым Павлом Сергеевичем, и.о. ректора, указала, что диссертация Загуляева Д.В. соответствует требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней» и паспорту специальности 01.04.07, в ней на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения и практические рекомендации, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение. Таким образом, Загуляев Д.В. заслуживает присуждения уче-

ной степени доктора технических наук по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния».

Соискатель имеет 270 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 98 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 53 работы (36 статей в научных журналах из перечня изданий, рекомендованных ВАК и 17 статей в зарубежных рецензируемых изданиях), а также 2 монографии, в том числе 1 в международном издательстве Taylor & Francis Group; 1 глава в монографии; 6 патентов на изобретение РФ и 7 свидетельств о государственной регистрации базы данных. В публикациях отражены основные научные результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы. В публикациях, включенных в список основных по теме диссертации и подготовленных в соавторстве, вклад соискателя оценивается 72 %. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения о работах, опубликованных соискателем ученой степени.

Наиболее значимые работы по теме диссертации: 1. Zaguliaev, D. Electron-Ion-Plasma Modification of a Hypoeutectoid Al-Si Alloy / D. Zaguliaev, V. Gromov, S. Konovalov, Yu. Ivanov. – Great Britain: Taylor & Francis Group, 2020. – 268 p. 2. Zaguliaev, D.V. The effect of high-intensity electron beam on the crystal structure, phase composition, and properties of Al-Si alloys with different silicon content / D.V. Zaguliaev, S.V. Konovalov, Yu.F. Ivanov, V.E. Gromov, V.V. Shlyarov, Yu.A. Rubannikova // Progress in Physics of Metals. – 2021. – Vol. 22. – No. 1. – P. 129-157. 3. Zaguliaev, D. Effect of pulsed electron beam treatment on microstructure and functional properties of Al-5.4Si-1.3Cu alloy / D. Zaguliaev, Y. Ivanov, S. Konovalov, V. Shlyarov, D. Yakupov, A. Leonov // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2021. – Vol. 488. – P. 23-29. 4. Загуляев, Д.В. Повышение износостойкости поверхностных слоев силумина АК10М2Н путем электронно-пучковой обработки / Д.В. Загуляев, В.Е. Громов, С.В. Коновалов, Ю.Ф. Иванов // Физика и химия обработки материалов. – 2018. – № 5. – С. 31-40. 5. Zaguliaev, D. Effect of electron-plasma treatment on the microstructure of Al-11wt%Si alloy / D. Zaguliaev, Yu. Ivanov, S. Konovalov, A. Abaturova, V. Gromov, Yu. Rubannikova, A. Semin // Materials Research. – 2020. – Vol. 23 (2). – 8 p. – e20200057. 6. Загуляев, Д.В. Влияние плотности энергии пучка электронов на структуру и механические характеристики поверхностных слоев доэвтектического силумина / Д.В. Загуляев, Ю.Ф. Иванов, А.М. Глезер, В.Е. Громов, С.В. Коновалов // Известия РАН. Серия Физическая. – 2019. – Т. 83. – № 10. – С. 1402-1409.

На диссертацию и автореферат поступило 10 отзывов. Все отзывы – положительные, отмечена новизна и научно-практическая значимость работы.

Отзывы без замечаний: 1) д.т.н., профессора, главного научного сотрудника управления научно-исследовательской деятельностью ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» Муравьева Василия Илларионовича; 2) д.т.н., профессора кафедры технологии машиностроения ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», директора ООО «КЦСК» Смирнова Александра Николаевича; 3) д.т.н., профессора, главного научного сотрудника ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН» (ИМАШ РАН) Столярова Владимира Владимировича.

Отзывы с замечаниями:

1) Д.т.н., профессора, профессора кафедры литейных процессов и материаловедения ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» Емелюшина Алексея Николаевича:

1. Из автореферата непонятно, как проводились испытания износостойкости и определялись триботехнические свойства исследованных сплавов;

2) Д.т.н., профессора, заведующего кафедрой – руководителя отделения материаловедения на правах инженерной школы ФГАОУ ВО «Национальный Томский политехнический университет» новых производственных технологий, Клименова Василия Александровича:

1. В работе, объектом исследования являлся алюминий с содержанием примесей Si от 0,0001 до 0,5900 масс.%, и Fe от 0,0001 до 0,1470 масс.%, хотя из автореферата непонятно, каким методом контролировались такие количества примесей и как это влияло на свойства исследуемого сплава.

2. В разделе «степень разработанности темы», не приводится анализ в отношении магнитных методов обработки и в целом из автореферата сложно понять необходимость их использования и каким образом были выбраны характеристики поля.

3. В работе используются различные измерения твердости, микротвердости и нанотвердости, однако на каких приборах и с какими нагрузками осуществлялись измерения из автореферата понять трудно.

4. Применяя методы поверхностной обработки, как правило, обсуждаются вопросы, связанные с исходным состоянием поверхности – шероховатость, предварительная подготовка и т.п., однако в данной работе этому не было уделено внимания;

3) д.т.н., ведущего научного сотрудника Проблемной научно-исследовательской лаборатории электроники, диэлектриков и полупроводников Исследовательской школы физики высокоэнергетических процессов ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» Гынгазова Сергея Анатольевича:

1. На стр. 8 в 3 пункте «Положения, выносимые на защиту» используется выражение «...при воздействии на его поверхность ионизированной плазмы...» Выражение не совсем удачное. По определению плазма - ионизированный газ, одно из четырёх классических агрегатных состояний вещества. Достаточно было, на мой взгляд, написать: при воздействии на его поверхность плазмы.

2. Подпись к рисунку 3 автореферата «Микрофотографии структуры сплава...» оформлена не по принятому в последующих рисунках 7, 10-13 стандарту - «Электронно-микроскопическое изображение...». Это, на мой взгляд, усложняет восприятие материала;

4) д.ф.-м.н., профессора, заведующего кафедрой «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» Амосова Александра Петровича:

1. В автореферате приводится много результатов определения коэффициентов трения и износа, но не указывается использованная для этого схема трения, форма и размеры трущихся тел.

2. На стр. 15 около рисунка 3 дается противоречивое описание структуры образцов после интенсивного облучения импульсным электронным пучком. Перед рисунком 3: «При 50 Дж/см² поверхность облучения фрагментирована микротрещинами, размеры фрагментов десятки-сотни микрометров, частицы интерметаллидов и кремния не выявляются (рисунок 3 а, б).» В подрисуночной подписи к рисунку 3: «а— структура литого сплава АК5М2 (стрелками указаны интерметаллиды) ...»

3. На стр. 19 указана излишняя точность 10,65 % концентрации кремния в поверхностных слоях материала;

5) д.ф.-м.н., профессора, директора научно-исследовательского института прогрессивных технологий, профессора кафедры «Нанотехнологии, материаловедение и механика» ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет» Мерсона Дмитрия Львовича:

1. В качестве замечания можно отметить, что п.4 раздела «Основные результаты и выводы» не относится ни к результатам, ни к выводам;

6) Д.ф.-м.н., профессора, главного научного сотрудника, и.о. зав. Лабораторией физико-химической инженерии композиционных материалов Института проблем химической физики РАН Колобова Юрия Романовича:

1. В выносимом на защиту положении сообщается о том, что воздействие интенсивного импульсного электронного пучка с заданными характеристиками приводит к многократному увеличению микротвердости, однако на рисунке 1а автореферата этого не продемонстрировано.

2. На рисунке 16 автореферата зависимости коэффициента износа от плотности энергии пучка электронов построены всего лишь для нескольких режимов. На соответствующей зависимости для интенсивного импульсного электронного пучка с длительностью импульсов 50 мкс наблюдается большой разброс измерений, часть точек значительно отклоняется от построенной кривой. При этом выпавшие точки близки к соответствующим значениям для 200 мкс (при одинаковой плотности энергии пучка 50 Дж/см²). Вывод о том, что режим (с параметрами интенсивного импульсного электронного пучка 50 Дж/см², 200 мкс) является оптимальным с точки зрения износостойкости, требует уточнения.

3. На рисунке 4 автореферата режим облучения с длительностью импульсов пучка электронов 150 мкс приведен отдельно от соответствующего для 50 и 200 мкс, что затрудняет сопоставление. Измеренные значения микротвердости поверхности сплава с длительностью импульсов пучка электронов 150 мкс находятся в пределах погрешности измерений, точка при 30 Дж/см² выпадает из общей зависимости. С чем это может быть связано? Рисунок 7 автореферата не

дает ответа на данный вопрос, т.к. приведен режим ($35 \text{ Дж/см}^2, 150 \text{ мкс}$), который отсутствует на графике (рисунок 4). Кроме этого, не приведены иллюстрации микроструктур для остальных режимов. Это не позволяет проследить изменения микроструктуры и фазового состава сплава в зависимости от проведенных обработок.

4. Из рисунка 11 в автореферате трудно предположить каким образом произошло образование идеально ровных по форме границ раздела (параллельных поверхности) между переходными слоями после воздействия электрическим взрывом на поверхность сплава Al-Si-Y-O?

5. На странице 27 автореферата сообщается: «Установлено, что износостойкость материала, подвергнутого электронно-ионно-плазменной обработке, независимо от ее режима, увеличивается в 18-20 раз по отношению к исходному сплаву и в 2,6-2,8 раз по отношению к сплаву, облученному интенсивным импульсным электронным пучком». Не совсем понятно: какие изменения структурно-фазового состояния приповерхностной области сплава позволяют дополнительно увеличить износостойкость по отношению к сплаву, облученному интенсивным импульсным электронным пучком?

7) д.т.н., профессора, заведующей кафедрой «Физика металлов и материаловедения» ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», Марковой Галины Викторовны:

1 В автореферате не обоснованы причины выбора некоторых параметров обработки, например, величины индукции магнитного поля, плотности энергии и времени импульса пучка электронов, составов систем для модифицирования поверхностных слоев при электровзрывном легировании.

2. Эксплуатационные свойства поверхностных слоев обеспечиваются не только элементарным и фазовым составом, структурой и геометрией слоя, но и знаком и уровнем напряжений, формирующихся в слое в результате обработки, однако, в работе этот фактор не исследован.

3. Некоторые интересные экспериментально обнаруженные эффекты недостаточно описаны и объяснены. Так, в главе 6 обнаружено образование на обработанной поверхности четырех слоев, при этом, в чем отличие в структуре и свойствах слоев, не указано. В главе 7 отмечено, что в модифицированном слое отсутствуют включения кремния и интерметаллидов, однако, природа такого изменения структуры не обсуждена.

4. В зарубежном автомобилестроении успешно используются заэвтектические силумины с модифицированной ультрамелкозернистой структурой. Было бы интересно применить разработанные методы обработки для сплавов, содержащих 23-26 % кремния.

В отзывах отмечены актуальность, большой объем проведенной научной работы, значимость полученных результатов. Отмечается, что замечания не снижают общего положительного впечатления о работе.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в области физики конденсированного состояния, публикациями, связанными с экспериментальными и теоретическими исследованиями различных энергетических воздействий на структуру, фазовый состав и свойства

цветных металлических материалов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана научная концепция, раскрывающая физическую природу и закономерности увеличения механических и трибологических свойств Al-Si сплавов, за счет формирования субмикро- и нанокристаллических, градиентных структур, возникающих в материалах после электронно-ионно-плазменных и магнитных воздействий,

предложены рациональные режимы электронно-ионно-плазменных воздействий, позволяющие значительно повысить (2-2,5 раза) срок службы деталей и узлов, изготавливаемых из силуминов,

доказана возможность применения электронно-ионно-плазменных воздействий и магнитных воздействий для управления деформационными характеристиками Al и Al-Si сплавов,

введен новый термин «электронно-ионно-плазменное воздействие».

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны положения, вносящие вклад в расширение существующих представлений о закономерностях повышения механических и трибологических свойств Al-Si сплавов, за счет формирования субмикро- и нанокристаллических, градиентных структур, возникающих в материалах после электронно-ионно-плазменных и магнитных воздействий,

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован комплекс взаимодополняющих методов математической статистики и методов современного физического материаловедения,

изложены факторы, ответственные за изменение деформационного поведения Al с содержанием примесей Si от 0,0001 до 0,5900 % масс., Fe от 0,0001 до 0,1470 % масс., при воздействии на него магнитными полями величиной до 0,3 Тл,

раскрыта взаимосвязь между структурными изменениями и повышением механических и трибологических характеристик модифицированного слоя.

изучено влияние режимов магнитных и электронно-ионно-плазменных воздействий на структурно-фазовые состояния алюминия различной степени чистоты и сплавы алюминия с кремнием,

проведена модернизация технологии комплексной энергетической обработки силуминов, заключающейся в последовательном воздействии на поверхность

ионно-плазменной струей с последующим модифицированием электронным пучком.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены оптимальные режимы электронно-ионно-плазменных и магнитных воздействий на алюминиевые сплавы в производственных процессах предприятий ООО «Ремкомплект» (экономический эффект 1,95 млн рублей), ООО «Арконик СМЗ» (экономический эффект 2 млн рублей) и ООО «Вест 2002» (экономический эффект 1,3 млн рублей), АО «РУСАЛ Новокузнецк». Результаты диссертационной работы используются в образовательной сфере при подготовке аспирантов по направлению подготовки 03.06.01 – Физика и астрономия (профиль «Физика конденсированного состояния») и бакалавров по направлению подготовки 22.03.01 – Материаловедение и технологии материалов,

определены перспективы практического использования электронно-ионно-плазменных и магнитных воздействий при модификации металлов и сплавов в различных промышленных процессах,

создана система практических рекомендаций для комплексной обработки внешними энергетическими воздействиями по подбору режимов обработки, обеспечивающих высокие механические свойства деталей ответственного назначения,

представлены рекомендации по выбору наиболее рациональных режимов обработки электронно-ионно-плазменными и магнитными воздействиями, позволяющими значительно повысить (2-2,5 раза) срок службы деталей и узлов, изготавливаемых из алюминия и его сплавов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ применялся комплекс стандартных и современных методов физики конденсированного состояния (оптическая микроскопия и рентгеноструктурный анализ, атомно-силовая, сканирующая и просвечивающая дифракционные электронные микроскопии, рентгеноспектральный микроанализ); результаты получены на сертифицированном оборудовании и имеют хорошую воспроизводимость,

теория, связывающая механизмы и закономерности формирования градиентных структурно-фазовых состояний металлических материалов при воздействии концентрированных потоков энергии, магнитного воздействия и интенсивной пластической деформации, построена на основе экспериментальных данных, её

теоретические положения опираются на достижения физики конденсированного состояния и коррелируют с опубликованными теоретическими положениями и экспериментальными данными других исследователей,
идея базируется на классических и современных представлениях о влиянии внешних энергетических воздействий на процесс образования структурных состояний материалов и свойств в алюминий-кремниевых сплавах,
использовано сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по тематике диссертации,
установлена качественная и количественная корреляция авторских результатов с основными результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике, в тех случаях, когда такое сравнение является обоснованным;
использованы современные и классические методы физики конденсированного состояния, методики сбора и обработки информации с обоснованием выбора объектов изучения и измерения.

Личный вклад соискателя заключается в формулировке цели, постановке задач, планировании исследований, выборе методов анализа, установлении зависимостей и закономерностей при обработке, анализе и обобщении полученных результатов, выявлении физической природы наблюдаемых зависимостей, составлении выводов и положений, выносимых на защиту. Соискатель самостоятельно выбирал материалы для исследований, подбирал режимы обработки внешними энергетическими источниками, определял рациональные параметры обработки, проводил обработку многофазными плазменными струями, электронными пучками, выполнял сбор и статистическую обработку полученных экспериментальных данных, анализировал изменения структуры и свойств Al-Si сплавов, подвергнутых внешним энергетическим воздействиям, и сопоставлял их с литературными данными. Все экспериментальные и теоретические данные были получены лично автором и/или при его непосредственном участии. Соискателем внесен решающий вклад в анализ данных эксперимента и статистических данных, а также в их представление в научной печати.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: физико-математическая модель представленная соискателем не в полной мере объясняет зависимости и закономерности, установленные экспериментально на алюминии при воздействии магнитным полем.

Соискатель Загуляев Д.В. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, привел собственную аргументацию и согласился с критическими замечаниями, которые будут учтены в дальнейшей работе.

На заседании 13 сентября 2022 г. диссертационный совет принял решение за решение научной проблемы установления механизмов и закономерностей формирования структурно-фазового состояния и свойств Al и Al-Si сплавов, подвергнутых электронно-ионно-плазменным и магнитно-полевым воздействиям, имеющей важное хозяйственное значение присудить Загуляеву Д. В. ученую степень доктора технических наук. При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 7 докторов наук по специальности 01.04.07, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 16, против – 1, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета,
д.т.н., профессор



М.В. Темлянцев

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д.х.н., профессор

В.Ф. Горюшкин

15.09.2022