

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.125.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ
И ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКИ ИМ. С.А. ХРИСТИАНОВИЧА
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 24.12.2021 № 19

О присуждении Маликову Александру Геннадьевичу, гражданину РФ,
учёной степени доктора технических наук.

Диссертация «Управление механикой структурно-фазового состава высокопрочных лазерных сварных соединений термически упрочняемых алюминиевых сплавов» по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы принята к защите 3 сентября 2021 г. (протокол № 14) диссертационным советом 24.1.125.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки (ФГБУН) Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук (ФГБУН ИТПМ СО РАН), 630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, 4/1, утвержденным приказом Рособнадзора от 16.11.2007 г. №2249-1603 и продлением срока полномочий приказом Минобрнауки России от 10.09.2009 (№591925-1734), подтверждением полномочий от 11.04.2012 (№105/нк) и изменениями от 08.06.2016 (№ 661/нк), от 3.08.2018 (№59/нк) и от 3.06.2021 (№561/нк).

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Оптимизация процесса лазерно-кислородной резки низкоуглеродистых стали» защитил в 2010 году в диссертационном совете, созданном на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института

теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук,

работает в должности заведующего лабораторией «Лазерные технологии» ФГБУН ИТПМ СО РАН.

Диссертация выполнена в лаборатории «Лазерные технологии» ФГБУН ИТПМ СО РАН.

Научный консультант – доктор физико-математических наук Оришич Анатолий Митрофанович, профессор, главный научный сотрудник лаборатории «Лазерные технологии» ФГБУН ИТПМ СО РАН.

Официальные оппоненты:

Туричин Глеб Андреевич, доктор технических наук, профессор, ректор Санкт-Петербургского Морского Технического Университета, г. Санкт-Петербург;

Сараев Юрий Николаевич, доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории композиционных материалов, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, г. Томск;

Толочко Борис Петрович, доктор химических наук, заведующий лабораторией «Методы синхротронного излучения», Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск
дали положительный отзыв на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук в своем положительном отзыве, подписанном д.ф.-м.н. Соловьевым Н.Г., д.ф.-м.н. Лисовенко Д.С., д.ф.-м.н. Колесниковым А.Ф., указала, что «Диссертационная работа, представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Маликовым А.Г. разработаны научные основы технологии лазерной сварки современных термически упрочняемых алюминиево-литиевых сплавов, которые позволяют прогнозировать результаты технологических процессов и

получать сварные соединения по комплексу характеристик прочности близкие или равные сплошным материалам. Диссертация отвечает критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к докторской диссертации, а ее автор Маликов Александр Геннадьевич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы».

Соискатель имеет **84 опубликованных работ** в рецензируемых журналах, из них по теме диссертации 23 печатные работы, входящие в перечень ВАК. Вклад автора в опубликованных работах состоит в постановке задач, подготовке и проведении экспериментальных исследований, обработке и анализе полученных данных, написании статей.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Аннин Б.Д., Фомин В.М., Антипов В.В., Иода Е.Н., Карпов Е.В., Маликов А.Г., Оришич А.М., Черепанов А.Н. Исследование технологии лазерной сварки алюминиевого сплава 1424 // Доклады Российской академии наук. 2015. Т. 465, № 4. С. 419 – 424.

Работа посвящена разработке методов повышения прочности неразъемных соединений авиационных сплавов, полученных с помощью лазерной сварки.

2. Аннин Б.Д., Фомин В.М., Карпов Е.В., Маликов А.Г., Оришич А.М. Комплексное исследование лазерной сварки высокопрочного сплава В-1469 // Авиационные материалы и технологии. 2016. № 3 (42). С. 9–16.

Работа посвящена лазерной сварки сплава В-1469 с применением термической обработки с целью получения высокопрочного сварного соединения.

3. Malikov A.G., Orishich A.M., Golyshev A.A., Karpov E.V. Manufacturing of high-strength laser welded joints of an industrial aluminum alloy of system Al–Cu–Li by means of post heat treatment // Journal of Manufacturing Processes. 2019. Vol. 41. P. 101–110.

Работа посвящена исследованиям влияния режимов пост термообработки на механические характеристики и микроструктуру сварного шва сплава В-1461.

4. Malikov A., Orishich A., Bulina N., Karpov E., Sharafutdinov M. Effect of post heat treatment on the phase composition and strength of laser welded joints of an Al–Mg–Li alloy // *Materials Science and Engineering A*. 2019. Vol. 765. Art. 138302 (8 p.).

Работа посвящена оптимизации термической пост обработки лазерного сварного шва сплава 1424 системы Al-Mg-Li.

5. Malikov A., Orishich A., Vitoshkin I., Karpov E., Ancharov A. Effect of post-heat treatment on microstructure and mechanical properties of laser welded Al–Cu–Mg alloy // *Journal of Manufacturing Processes*. 2021. Vol. 64. P. 620–632.

Работа посвящена получению высокопрочных лазерных сварных соединений алюминиевого сплава Д16Т за счет применения пост термообработки.

На диссертацию поступили отзывы:

Ведущей организации ФГБУН ИПМех РАН. Отмечается научная новизна исследований, обоснованность научных положений и достоверность результатов, которые не вызывают сомнений. Результаты опубликованы в ведущих рецензируемых научных изданиях и получили достаточную апробацию. Работа отличается разнообразием применяемых методов регистрации комплекса прочностных и микроструктурных характеристик. Чувствительность, пространственная и временная разрешающая способность применяемых методов измерений была достаточной для того, чтобы сделать качественные и количественные выводы о структуре исследуемых материалов. Особо отмечено большое практическое значение диссертационной работы. Замечания: 1. В Главе 1 автор оперирует понятием «качество лазерного пучка» K , которое правильнее называть «параметр распространения лазерного пучка», как это понятие определяет стандарт ГОСТ Р ИСО 11146-1-2008. 2. При описании процессов, происходящих при лазерной сварке металлов, автор перечисляет имена исследователей, внесших значительный вклад в

исследование этих процессов. В списке литературы, за редким исключением, отсутствуют ссылки на оригинальные труды упомянутых авторов. 3. Неясно, о каком конкретно типе лазеров идет речь в Табл. 1.1, поскольку дисковый и волоконный лазеры также являются твердотельными. 4. Текст диссертации страдает стилистическими неточностями, связанными с согласованием времен, числительных и пр. 5. На стр. 220 – 221 вводятся трехиндексные обозначения для направлений в гексагональной кристаллической решетке. К какому типу системы координат они относятся? 6. В тексте диссертации и автореферата присутствуют опечатки и неточности.

Официального оппонента д.т.н. Туричина Г.А. Указывается, что работа Маликова А.Г. является завершённой научно-исследовательской работой на актуальную тему. Разработанные научные основы технологии лазерной сварки алюминиево-литиевых сплавов позволили получить прочностные свойства сварных соединений, близкие или равные исходным сплавам. Замечания: 1. Работа оформлена небрежно, по тексту пропущены отдельные слова и целые выражения. Автор вводит оригинальные термины там, где существует стандартная терминология. 2. Утверждение об отсутствии самосогласованных моделей процесса лазерной сварки алюминиевых сплавов не соответствует действительности. 3. Для экспериментов использовался CO₂ лазер, тогда как в последнее десятилетие произошел переход лазерной сварки на волоконные лазеры мощностью до 14–16 кВт. Повышение мощности и соответственно скорости сварки позволило бы существенно ужесточить термический цикл и повысить качество сварного соединения, сократив испарение легирующих и время диффузионной активности. 4. Почему выбрана автором схема сварки без использования присадочной проволоки?

Официального оппонента д.т.н. Сараева Ю.Н. Указывается, что работа является завершённым и научно обоснованным трудом. Научные положения, выводы, рекомендации, сформулированные в диссертации, вполне обоснованы автором и сомнений не вызывают. Замечания: 1. Не ясно, каким образом автору удастся регулировать качество неразъемных соединений при действии

технологических возмущений в свариваемом изделии: изменении зазора, толщины свариваемого материала и т.п. 2. Одной из основных проблем сварных соединений из алюминиевых сплавов является повышенное порообразование. Из содержания работы невозможно выделить, как в этом случае обеспечить требуемое качество неразъемных соединений? 3. Не ясно также, как может быть обеспечена стабильность и качество сварных соединений при отсутствии присадочного материала? 4. Повышение концентрации источника нагрева обеспечивает узкую (кинжальную) форму проплавления. В сварном шве будет присутствовать обедненное количество элементов из-за их выгорания. В работе не приводятся значения количественных изменений исходного химического состава после сварки. 5. Не представлен анализ электродуговых способов сварки плавящимся и неплавящимся электродом в среде защитных газов.

Официального оппонента д.х.н. Толочко Б.П. Отмечено, что автором проведена колоссальная работа по изучению микроструктуры и фазового состава сварных соединений и механических характеристик сварных соединений, выяснена причина снижения прочностных характеристик материала сварного шва. Предложено провести дополнительную термическую обработку, чтобы восстановить разрушенную микроструктуру материала шва. Замечания: 1. Для восстановления механических свойств сплава сварной шов подвергается закалке и отжигу. Однако очевидно, что этому воздействию подвергается и остальная часть образца, т.е. сплав, который уже закален и отожжен, и это приведет к ухудшению его механических характеристик. Это явление не анализируется. 2. Можно ли будут разрабатываемые методы пост обработки реализовать практически на производстве, в частности закалку и отжиг больших изделий? 3. На стр. 67 автор пишет «При использовании съемки по способу Лауэ (на просвет) в рассеянии фотонов участвует весь объем вещества на пути пучка излучения». В получаемых дифракционных данных отсутствует информация о распределении фаз по глубине. Автор не исследовал распределение фаз по глубине сварного шва. 4. На рис. 2.4 пучок СИ из

ускорителя сразу попадает на образец, но это не так – он сначала попадает на монохроматор, затем входит в коллимирующую систему и только потом на образец. 5. На стр. 67 автор пишет: «Синхротронное излучение возникает при движении релятивистских заряженных частиц (в основном электронов)...». Фраза «в основном электронов» некорректна. Имеются опечатки.

Отзывы на автореферат:

Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н. **Осипова Владимира Васильевича**, заведующего лабораторией квантовой электроники ФГБУН Институт электрофизики Уральского отделения РАН. Отзыв положительный, замечания отсутствуют.

Д.ф.-м.н. **Тарасенко Виктора Федотовича**, главного научного сотрудника лаборатории оптических излучений ФГБУН Институт сильноточной электроники Сибирского отделения РАН. Отзыв положительный, замечания отсутствуют.

Д.т.н. **Кузнецовой Виктории Николаевны**, профессора ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет». Отзыв положительный. Замечания: 1. Осталось неясным, проведены ли измерения микротвердости и анализ ее изменения в зависимости от удаления от центра сварного шва. 2. Не приведены направления и перспективы дальнейших исследований автора по теме диссертации.

Д.т.н. **Потатуркина Олега Иосифовича**, главного научного сотрудника ФГБУН Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения РАН. Отзыв положительный. Замечания: в автореферате не отражены причины, по которым нецелесообразно использовать разработанные и промышленно применяемые в настоящее время при производстве алюминиевых сплавов режимы термической обработки и в чем принципиальная новизна применения синхротронного излучения для исследования сварных швов.

Д.т.н. **Люкшина Бориса Александровича**, профессора, заведующего кафедрой механики и графики и д.т.н. **Панина Сергея Викторовича**, профессора отделения материаловедения Инженерной школы новых производственных технологий ФГБОУ ВО Национальный

исследовательский Томский политехнический университет. Отзыв положительный. Замечание: 1. В тексте подчеркивается, что качество соединений оценивалось проведением малоцикловых испытаний лазерных сварных соединений. Для авиационных конструкций характерны вибрационные нагрузки, т.е. когда амплитуда относительно невелика, а число циклов может достигать таких значений, при которых нагрузки нельзя отнести к малоцикловым. Следовало обратить на это внимание. 2. Было бы целесообразно развитые в работе научные основы технологии лазерной сварки представить схематично в виде сводной таблицы. 3. Положения № 4 – 8, выносимые на защиту, сформулированы в единообразном ключе, что делает их восприятие несколько утяжеленным. Однако это не умаляет их научной значимости.

Д.т.н. Пугачевой Наталии Борисовны, главного научного сотрудника лаборатории микромеханики материалов ФГБУН Институт машиноведения Уральского отделения РАН. Отзыв положительный, без замечаний.

Д.ф.-м.н. Лосева Валерия Федоровича, главного научного сотрудника лаборатории газовых лазеров ФГБУН Институт сильноточной электроники Сибирского отделения РАН. Отзыв положительный, без замечаний.

К.т.н. Рынгача Николая Анатольевича доцента кафедры самолето- и вертолетостроения Новосибирского государственного технического университета. Отзыв положительный, замечания отсутствуют.

Д.т.н. Магеррамовой Любови Александровны, начальника сектора и **к.т.н. Исакова Владимира Владимировича**, старшего научного сотрудника отделения «Динамика, прочность, надежность» ФАУ «Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова». Отзыв положительный. Замечания: 1. Экспериментальные исследования на синхротроне ИЯФ СО РАН лазерных сварных образцов показало, что в сварном шве происходит формирование тройной фазы $S_1(A1_2MgLi)$, причем частицы этой фазы хаотически располагаются по твердому раствору. Литий методом EDX-анализа при растровой электронной микроскопии не

обнаруживается. 2. Не указаны методы математического моделирования, посредством которых проводились исследования взаимосвязи термического воздействия лазерного излучения со свойствами сварного шва и прочностными характеристиками.

Д.т.н. **Галимова Энгеля Рафиковича**, профессора, зав. кафедрой и к.э.н. **Курынцева Сергея Вячеславовича**, доцента кафедры материаловедения, сварки и производственной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ». Отзыв положительный. Замечания: 1. Почему в исследованиях не используются сварные соединения, полученные с применением присадочной проволоки? 2. Производилось ли исследование влияния двухстадийного высоко - и низкотемпературного искусственного старения, а также исследование влияния отжига перед закалкой? 3. Выдвигаемые на защиту пункты защищены патентами? 4. В автореферате имеются ошибки редакционного характера.

Д.т.н. **Малькова Виктора Михайловича**, профессора кафедры «Плазмогазодинамика и теплотехника» ФГБОУ ВО Балтийский Государственный Технический Университет -«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова. Отзыв положительный. Замечания: В ходе исследования сварные швы были получены с помощью CO₂- лазера с $\lambda=10,6$ мкм. Чем короче λ , тем сильнее влияние турбулентности на прохождение излучения через такую среду. Поэтому влияние λ на процесс сварки, по - видимому, будет, т.е. λ - как ещё один параметр в задаче.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются признанными высокопрофессиональными специалистами в областях, непосредственно связанных с темой диссертации: д.т.н. Туричин Г. А. – специалист в области теоретических исследований, моделировании и разработке технологий лучевой обработки материалов; д.т.н. Сараев Ю. Н. – специалист в области управления быстропротекающих процессов тепломассопереноса при

импульсных процессах сварки и наплавки; д.х.н. Толочко Б. П. – специалист в области методов синхротронного излучения и их использовании для исследования термического разложения, механохимических реакций, твёрдофазных химических реакций. Ведущая организация Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского РАН – один из крупнейших научных центров по фундаментальным исследованиям в различных областях общей механики, механики жидкости и газа, лазерных технологий, механики деформированного твёрдого тела.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

установлены научно-технологические принципы взаимодействия и эффективного управления характеристиками лазерного излучения с современными термически упрочняемыми алюминий-литиевыми сплавами с целью оптимизации термического цикла сварки и получения бездефектной структуры сварных соединений;

всесторонне исследована эволюция фазового состава сварного шва на основе современных методов высокоразрешающей электронной микроскопии и впервые – с использованием синхротронного излучения;

разработаны физические механизмы управления структурно-фазовым составом на основе методов пост термообработки для получения высоких механических свойств сварного шва алюминиевых сплавов;

экспериментально проведена оптимизация пост термообработки и комплексно оценены структурно-фазовый состав и механические свойства лазерных сварных соединений алюминиевых сплавов;

исследован механизм физических явлений при изучении основ формирования упрочняющих фаз в твердом растворе сварного шва при воздействии мощного лазерного излучения и последующей оптимальной термообработки;

проведены малоцикловые испытания высокопрочных лазерных сварных соединений на пульсирующее растяжение, при повышенных и пониженных

температурах. Показано что количество циклов до разрушения увеличивается в 3–4 раза и приближается к исходному сплаву; впервые показано, что оптимальное лазерное воздействие и последующая термообработка позволяют получать сварные соединения алюминиевых сплавов, близких или равных по своим прочностным свойствам исходным сплавам.

Теоретическая значимость работы обоснована тем, что выполненные в диссертации исследования существенно расширяют представления о технологических процессах лазерной сварки современных термически упрочняемых алюминиево-литиевых сплавов и границы применимости полученных результатов, что открывает перспективы прогностического анализа прочностных свойств сварных соединений.

Значение полученных соискателем результатов исследований для практики заключается в том, что внедрение результатов по сварке алюминиевых сплавов в авиа- и ракетостроение приведет к снижению материалоемкости и общей массы несущих конструкций летательных аппаратов и предоставит новые возможности для повышения их характеристик. Результаты, диссертации могут быть использованы в научных, учебных и производственных организациях, участвующих в исследованиях, разработках и производстве современной летательной техники и материалов для ее производства (ПАО «ОАК», ВИАМ, ИЛиСТ, МГТУ им Баумана и др.).

Оценка достоверности полученных результатов определяется использованием комплекса современных аналитических методов исследования структуры материалов и оценкой их свойств, воспроизводимостью экспериментальных данных, статистической обработкой результатов измерений.

Личный вклад соискателя состоит в постановке цели и задач исследований, проведении исследования структурно-фазового состава и механических свойств, оптимизации процесса лазерной сварки, выявлении

основных закономерностей эволюции фазового состава и получении высокопрочных лазерных сварных соединений, обобщении полученных результатов и исследовании влияния легирующих элементов на механику структурно-фазового состава сварного шва, а также в подготовке публикаций.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

На заседании 24 декабря 2021 г. диссертационный совет принял решение за создание научных основ процессов лазерной сварки и термической обработки, позволяющие получать сварные соединения современных термически упрочняемых алюминиевых сплавов близких или равных по своим прочностным свойствам исходным сплавам, что можно квалифицировать как научное достижение в области механика жидкости, газа и плазмы, присудить Маликову А.Г. ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 8 докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвующих в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 20, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного с

Ученый секретарь
диссертационного совета

Гапонов Сергей Александрович

«27» декабря 2021 г.