

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.078.01 (Д 002.060.01),
созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения
науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова
Российской академии наук,
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации,
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 28.10.2021 № 8/21

О присуждении Хомичу Юрию Владиславовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование термической обработки поверхностей металлов и керамик наносекундными импульсами лазерного ультрафиолетового излучения для диффузионной сварки» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 (05.16.01) – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» принята к защите 26 августа 2021 г., протокол № 6/21, диссертационным советом 24.1.078.01 (Д 002.060.01) на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 119334, г. Москва, Ленинский проспект, 49, приказ Минобрнауки РФ № 714/нк от 02.11.2012 г.

Соискатель Хомич Юрий Владиславович 1986 года рождения в 2008 году окончил Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова по специальности «География».

Работает научным сотрудником в лаборатории электроразрядной и лазерной техники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института электрофизики и электроэнергетики Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории электроразрядной и лазерной техники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института электрофизики и электроэнергетики Российской академии наук.

Научный руководитель – Ямщиков Владимир Александрович, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, директор филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института электрофизики и электроэнергетики Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

1. Люшинский Анатолий Владимирович, доктор технических наук, заместитель главного технолога - начальник научно-технической лаборатории сварочных технологий, АО «Раменское приборостроительное конструкторское бюро», Московская область, г. Раменское.

2. Уткин Иван Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры сварки и мониторинга нефтегазовых сооружений федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина».

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург, в своем положительном отзыве, подписанном профессором Высшей школы физики и технологии материалов Института машиностроения, материалов и транспорта, доктором технических наук, доцентом Паршиным Сергеем Георгиевичем, и утвержденном первым проректором, доктором технических наук, член-корреспондентом РАН Сергеевым Виталием Владимировичем указала, что диссертационная работа Хомича Юрия Владиславовича на тему: «Исследование термической обработки поверхностей металлов и керамик наносекундными импульсами лазерного ультрафиолетового излучения для

диффузионной сварки» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно-обоснованные технические и технологические решения, которые имеют важное значение для металловедения в машиностроительной, авиакосмической и атомной отрасли РФ. Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения и свидетельствует о личном вкладе автора. Публикации автора в полной мере отражают его основные научные и практические достижения. Автореферат диссертации достаточно полно и правильно отражает основные положения диссертации. В целом, диссертационная работа Хомича Юрия Владиславовича соответствует требованиям п.п. 9-11,13,14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Хомич Юрий Владиславович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.1 (05.16.01) - «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

В положительном отзыве ведущей организации имеются следующие замечания:

1. в тексте диссертации на стр. 89, 91, 97, 99 на рис.4.5, 4.6, 4.11, 4.13 указаны механические свойства сварных соединений без диапазона отклонений от средней величины.

2. в сварном соединении аустенитной стали 08X18H10T и ферритной стали 09X17H имеется вероятность появления разупрочненных и твердых слоев, что можно было бы определить рентгеноспектральным распределением углерода и измерением микротвердости в поперечном сечении.

3. для оценки надежности и долговечности сварных соединений желательно произвести испытания на длительную прочность и циклическую усталостную прочность при повышенных температурах.

От официального оппонента Люшинского А.В. поступил положительный отзыв со следующими замечаниями:

1. в тексте диссертации очень часто употребляется термин «термическая обработка поверхности». Возможно, если было бы применено сокращение «ТОП», то текст был бы несколько компактнее;

2. в работе часто применяется термин «лазерное сверление». На мой взгляд, это неудачный дословный перевод английского термина «laser drilling». Считаю, что было бы уместней употреблять: «лазерная прошивка отверстий»;

3. недостаточно подробно изложены данные о применении деталей после диффузионной сварки с применением лазерной подготовки поверхностей.

От официального оппонента Уткина И.Ю. поступил положительный отзыв со следующими замечаниями:

1. глава 1. В обзоре литературы уделено слишком мало внимания электрохимическим методам предварительной подготовки поверхности, которые отличаются своей масштабируемостью и играют большую роль в реальном промышленном производстве;

2. глава 2. Рассматривались варианты других лазерных источников для термической обработки материалов? Например, CO₂ лазер или волоконные лазеры?

3. глава 3. В качестве объектов исследования в данной работе были выбраны материалы ЧС 57 (ХН55МВЦ), стали марок 09Х17Н, 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т и Cu-Cr и несколько вариантов их соединений. Чем обусловлен такой выбор?

4. глава 4. Чем объясняется понижение механических свойств диффузионно-сварного соединения ЧС57 при обработке поверхностей в режиме 2 (см. рис. 4.6)?

5. глава 5. На рис. 5.6 на профилограмме наблюдается большое количество белых пятен, наличие таких белых пятен было заметно и в главе 3 в гораздо меньшем объеме. С чем это связано?

На автореферат диссертации Хомича Ю.В. поступило 5 отзывов. Все отзывы положительные.

1. Отзыв старшего научного сотрудника ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова», к.т.н. Исакова В.В. содержит 2 замечания:

- не приведены характеристики исследуемых сплавов и керамических материалов;

- не отражены применяемые диссертантом методы исследования глубины зоны лазерного воздействия, необходимые для оценки достоверности результатов.

2. Отзыв заведующего лабораторией структурных и фазовых превращений в конд. средах ИПМаш РАН, Заслуженного деятеля науки РФ, Лауреата премии Президиума РАН им. П.А. Ребиндера и премии СПбНЦ РАН и Правительства СПб им. А.Ф. Иоффе, д.ф.-м.н., проф. Кукушкина С.А. не содержит замечаний.

3. Отзыв заместителя по инновационной деятельности ФГБУН «Институт проблем сверхпластичности металлов» Российской академии наук, к.ф.-м.н. Хазгалиева Р.Г. содержит 1 замечание:

- из текста автореферата не ясно, каким образом осуществляется защита поверхности от окружающей газовой среды и какова область влияния газов на поверхности металлов. В автореферате стоило показать и кратко описать микроструктуры не только обработанной поверхности, но и зоны термического влияния, наличие или отсутствие дефектов в виде пор или каких-либо включений в ДС.

4. Отзыв главного научного сотрудника, заведующего лабораторией лазерной и плазменной обработки ИФМ УрО РАН, Заслуженного изобретателя Российской Федерации, д.т.н. Коробова Ю.С. содержит 2 замечания:

- Известно, что применение деформационной обработки хромовой бронзы вызывает изменение форм частиц хрома, образующихся при распаде твердого раствора, со стержневой на сферическую (см., например, [Николаев А.К., Новиков А.И., Розенберг В.М. Хромовые бронзы. – М.: Металлургия, 1983, 176 с.]. При воздействии лазерного луча высокий градиент температур в поверхностных слоях металла приводит к аналогичным деформационным

воздействиям. Необходимо указать, в чем новизна установленного автором наличия шарообразных структур в хромовой бронзе после поверхностной лазерной обработки в сравнении с результатом механического воздействия.

- В 4 главе приведены результаты увеличения предела прочности и относительного удлинения «... у деталей лазерной обработкой... относительно соединения образцов с необработанными поверхностями». При этом в первой главе приведена гамма существующих методов подготовки поверхности перед диффузионной сваркой. Для оценки эффективности предложенного подхода желательно сравнить решение авторов с указанными существующими методами подготовки поверхности по приведенным параметрам качества.

5. Отзыв Директора Центра лазерных технологий ФГБУН Института автоматизации и процессов управления ДВО РАН, к.ф.-м.н., в.н.с. Субботина Е.П. содержит 2 замечания:

- Существуют различные, хотя и близкие по составу, марки хромовых бронз – БрХ и БрХ0,8. Не совсем понятно, какая конкретная марка бронзы использовалась в работе.

- Используемые марки сталей 08Х18Н10Т и 12Х18Н10Т очень близки по составу и свойствам. Возможно, было бы интереснее сравнить одну из них с другой коррозионностойкой сталью – например, содержащей молибден.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетенцией, наличием публикаций и достижений в области физики конденсированного состояния, квалификацией, способностью определить актуальность, научную и практическую ценность представленной диссертационной работы.

Соискатель имеет 18 работ, опубликованных по теме диссертации, в том числе 10 статей в журналах из перечня ВАК, 7 статей в журналах, входящих в базы данных WoS или Scopus, 6 публикаций в трудах конференций; а также получены положительные решения на 3 заявки на патенты.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. С.И. Миколуцкий, Ю.В. Хомич. Влияние лазерного УФ излучения наносекундной длительности на структуру и адгезионные свойства металлов и сплавов. Физика металлов и металловедение. 2021. Т. 122. №2. С. 1-7.
2. Ю.А. Вашуков, В.Д. Еленев, Ю.А. Железнов, Т.В. Малинский, С.И. Миколуцкий, Ю.В. Хомич, В.А. Ямщиков. Влияние лазерной перфорации элементов диффузионно-сварного соединения «керамика-медь-керамика» на его механические свойства. Неорганические материалы. 2021. Т. 57. № 2. С.1–6.
3. Ю. А. Железнов, Т.В. Малинский, С.И. Миколуцкий, В.Е. Рогалин, С.А. Филин, Ю.В. Хомич, В.А. Ямщиков, И.А. Каплунов, А.И. Иванова. Деформационные процессы на поверхности никелевого сплава при воздействии наносекундными лазерными импульсами. Деформация и разрушение материалов. 2021. № 2. С. 15-20.
4. Т.В. Малинский, С.И. Миколуцкий, В.Е. Рогалин, Ю.В. Хомич, В.А. Ямщиков, И.А. Каплунов, А.И. Иванова. Пластическая деформация меди в результате воздействия мощного ультрафиолетового наносекундного лазерного импульса. Письма в ЖТФ. 2020. Том 46. Вып. 16. С. 51-54.
5. В.Н. Елкин, Т.В. Малинский, Ю.В. Хомич, В.А. Ямщиков. Влияние предварительной лазерной обработки поверхности на механические свойства диффузного сварного соединения железоникелевого сплава. Физика и химия обработки материалов. 2020. № 3. С. 40-47.
6. V.N. Yolkin, T.V. Malinskiy, Y.V. Khomich, V.A. Yamshchikov. Modification of the surface microtopography of a bronze alloy under irradiation with a scanning beam of nanosecond laser radiation pulses. Inorganic Materials: Applied Research. 2020. Т. 11. № 3. С. 598-603.
7. Ю.А. Вашуков, С.Ф. Демичев, В.Д. Еленев, Т.В. Малинский, С.И. Миколуцкий, Ю.В. Хомич, В.А. Ямщиков. Лазерная обработка поверхности металлических сплавов для диффузионной сварки. Прикладная физика. 2019. № 1. С. 82-87.
8. Yu.A. Zheleznov, T.V. Malinskiy, Yu.V. Khomich, V.A. Yamshchikov. The effect of a scanning nanosecond laser pulse beam on the microtopography of ceramic

AL₂O₃ coatings. Inorganic materials: Applied research. 2018. V. 9. No.3. P. 460-463.

9. В.Н. Ёлкин, Т.В. Малинский, С.И. Миколуцкий, Р.Р. Хасая, Ю.В. Хомич, В.А. Ямщиков. Влияние облучения наносекундными лазерными импульсами на структуру поверхности металлических сплавов. Физика и химия обработки материалов. 2016. № 6. С. 5-12.

10. Ю.А. Железнов, Т.В. Малинский, С.И. Миколуцкий, Р.Р. Хасая, Ю.В. Хомич, В.А. Ямщиков. Обработка поверхности титана наносекундным лазерным излучением. Письма о материалах. 2014. Т. 4. № 1 (13). С. 45-48.

11. Ю.А. Железнов, Т.В. Малинский, С.И. Миколуцкий, Р.Р. Хасая, Ю.В. Хомич, В.А. Ямщиков, В.Н. Токарев. Экспериментальная установка по микро и наноструктурированию поверхности твёрдых тел лазерным излучением. Прикладная физика. 2014. № 3. С. 83-87.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Разработаны научные основы метода лазерной обработки поверхности ряда коррозионностойких, в т.ч. жаропрочных сталей и сплавов, включая выбор лазерного источника и режимов лазерной термической обработки, обеспечивающих оптимальное качество поверхности перед проведением диффузионной сварки.

- Экспериментально показано, что предварительная термическая обработка сканирующим пучком наносекундного лазера с длиной волны $\lambda = 355$ нм при плотностях энергии излучения в диапазоне $2 \div 3$ Дж/см² и скорости сканирования луча 1 мм/с поверхности образцов, изготовленных из жаропрочного сплава на никелевой основе ЧС 57, приводит к улучшению механических свойств сварных соединений: увеличению прочности на растяжение и деформации растяжения более чем на 10 и 20 %, соответственно, по сравнению с необработанными образцами – при оптимальной температуре (1160 °С) диффузионной сварки в условиях горячего изостатического прессования.

- Установлено, что предварительная лазерная термическая обработка поверхности образцов, изготовленных из жаропрочного сплава на никелевой основе ЧС 57, при пониженной температуре сварки в 1000 °С приводит к увеличению прочности на растяжение до 30 % и деформации растяжения до 150 % по сравнению с необработанными образцами, что позволяет снизить температуру процесса горячего изостатического прессования на ≈ 160 °С при сохранении механических характеристик сварного соединения.
- Впервые экспериментально обнаружены и исследованы не наблюдавшиеся ранее квазиупорядоченные структуры шарообразной формы диаметром ≈ 500 нм, расположенные на ножках высотой ≈ 1 мкм на поверхности Cu-Cr бронзы при её облучении сканирующим пучком Nd:YAG лазера с длиной волны излучения $\lambda = 355$ нм в диапазонах плотностей энергии излучения $0,1 \div 2$ Дж/см² и скоростей сканирования $0,5 \div 1$ мм/с. Установлено, что при скорости сканирования луча 1 мм/с плотность распределения шарообразных структур по поверхности составляет около 20 структур на 100 мкм², а при скорости сканирования до 0,5 мм/с их количество на единицу поверхности увеличивается приблизительно в два раза.
- Перфорация микроотверстий в металлических прокладках и термообработка поверхности керамических заготовок с применением наносекундного Nd:YAG лазера перед осуществлением диффузионной сварки позволили повысить прочность сварных соединений из керамики Si₃N₄ с применением перфорированной лазером медной прокладки в 1,45 раза при одновременном увеличении значений относительного удлинения до 50 % по сравнению с применением сплошной прокладки.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- приведена оценка процессов лазерной термообработки материалов с целью модификации поверхности для последующей диффузионной сварки, обоснован выбор лазерного источника и его параметров;
- для исследуемых в работе материалов с помощью теоретической модели образования наноструктур при оплавлении поверхности лазерным импульсом

были оценены характерные параметры поверхностных структур (толщина оплавленного слоя, время кристаллизации, размер центра кристаллической фазы);

- показана перспективность использования наносекундных УФ лазеров в качестве высокоточного источника локального нагрева при нанесении перфорированных микроотверстий как в металлических прокладках, так и в поверхностях керамических заготовок для улучшения процесса диффузионной сварки керамических материалов с применением металлических прокладок.

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

- Предложенный способ предварительной термической обработки поверхности образцов наносекундными импульсами лазерного УФ излучения приводит к улучшению механических свойств соединений металлических сплавов, полученных диффузионной сваркой в условиях горячего изостатического прессования (ГИП), а также позволил снизить оптимальную температуру процесса на 160°C с сохранением механических характеристик сварного соединения и прочих условий сварки.

- Использование наносекундного УФ лазера для сверления микроотверстий в металлических прокладках улучшает эффективность их применения при осуществлении диффузионной сварки керамических материалов и позволяет увеличить пределы прочности и относительного удлинения твердофазного соединения Si₃N₄ – медь – Si₃N₄.

- На основании результатов работы поданы и получены положительные решения на три заявки на изобретения:

1. Ёлкин В. Н., Малинский Т. В., Миколуцкий С. И., Филин С. А., Хомич Ю. В., Ямщиков В. А. Заявка на изобретение № 2200132971/05(060110) от 07.10.2020 г. «Способ получения наноструктурированной поверхности металлической заготовки лазерной обработкой».

2. Вашуков Ю. А., Малинский Т. В., Миколуцкий С. И., Рогалин В. Е., Филин С. А., Хомич Ю. В. и Ямщиков В. А. Заявка на изобретение

№ 2200132971/05(060110) от 07.10.2020 г. «Способ диффузионной сварки керамики с керамикой или с металлами».

З. Малинский Т. В., Миколуцкий С. И., Рогалин В. Е., Филин С. А., Хомич Ю. В. и Ямщиков В. А. Заявка на изобретение № 2020132973/05(060114) от 07.10.2020 г. «Способ сварки деталей из жаропрочных сплавов на никелевой основе с использованием лазерного излучения».

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

- автором выполнен большой объем экспериментов с использованием современных методов и методик;
- для экспериментальных работ использовано сертифицированное оборудование, показана воспроизводимость результатов исследований;
- теория согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации и отвечает представлениям о механизмах лазерной модификации и ее влияния на механические свойства диффузионно-сварных соединений;
- использованы современные методики сбора и обработки информации.

Личный вклад соискателя состоит в постановке конкретных задач исследования, создании экспериментальной установки, разработке методики экспериментов, проведении основных экспериментов, подготовке основных публикаций по выполненной работе, непосредственном участии в обработке, научном анализе и интерпретации полученных экспериментальных данных.

Диссертационная работа соответствует требованиям паспорта специальности 2.6.1 (05.16.01) – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

На заседании 28 октября 2021 г. диссертационный совет принял решение присудить Хомичу Юрию Владиславовичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 6 докторов наук по специальности 2.6.1 (05.16.01) – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов», участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 19, против – нет.

Решение диссертационного совета принималось тайным голосованием с применением коммуникационных технологий в соответствии с Приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «О внесении изменений в Положение о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук» №458 от 07 июня 2021 г., направленных на предотвращение распространения новой коронавирусной инфекции (COVID-19), ввиду удаленного участия 7 членов диссертационного совета из 19 участвовавших в заседании.

Председатель Диссертационного совета
24.1.078.01 (Д 002.060.01), д.т.н., проф.

Поварова К.Б.

Ученый секретарь Диссертационного совета
24.1.078.01 (Д 002.060.01), д.т.н., доц.
«01» ноября 2021 г.

Костина М.В.

Подписи К.Б. Поваровой и М.В. Костиной удостоверяю:

Ученый секретарь
ИМЕТ РАН, к.т.н.



Фомина О.Н.