

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 № 9/21

О присуждении Рябкину Дмитрию Игоревичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Исследование изменений физических характеристик органических нанодисперсных сред под воздействием лазерного излучения при сваривании биологических тканей» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 (01.04.07) – «Физика конденсированного состояния» принята к защите 26 августа 2021 г., протокол № 7/21, 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 Рябкин Дмитрий Игоревич 1991 года рождения в 2015 году окончил ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники» по специальности «Электроника и наноэлектроника».

В 2019 г. окончил аспирантуру по специальности 03.06.01 – «Физика и астрономия» в ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет

«Московский институт электронной техники» по специальности «Электроника и наноэлектроника». Работает инженером Институте биомедицинских систем федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в Институте биомедицинских систем федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – Подгаецкий Виталий Маркович, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Института биомедицинских систем федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Официальные оппоненты:

1. Завестовская Ирина Николаевна, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник РАН, Высоккоквалифицированный ведущий научный сотрудник отдела космических излучений Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук.

2. Хорьков Кирилл Сергеевич, кандидат физико-математических наук, Директор института прикладной математики, физики и информатики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ).

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» (ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»), в своем положительном отзыве, подписанном ведущим научным сотрудником отдела математического моделирования Образовательно-научного института наноструктур и биосистем, доктором физико-математических наук, профессором Давидовичем Михаилом Владимировичем, и утвержденном проректором по научной работе и цифровому развитию, доктором физико-математических наук, профессором Короновским Алексеем Александровичем, указала, что тема и содержание диссертационной работы Рябкина Д.И. «Исследование изменений физических характеристик органических нанодисперсных сред под воздействием лазерного излучения при сваривании биологических тканей» соответствует специальности 1.3.8 (01.04.07) – Физика конденсированного состояния. Автореферат достаточно полно и правильно отражает ее содержимое. Таким образом, по экспериментальному, методическому и теоретическому уровням, объему, научной новизне, научной и практической значимости, актуальности диссертационная работа Рябкина Д.И. полностью отвечают требованиям пп.9-11,13,14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а автор диссертации, Рябкин Дмитрий Игоревич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 (01.04.07) – Физика конденсированного состояния.

В положительном отзыве ведущей организации имеются следующие замечания:

1. В предлагаемой математической модели учитывается нагрев прилегающей биологической ткани, вызванный только поглощением лазерного излучения, и не учитывается нагрев биоткани из-за транспорта тепла от более нагретой области сваривания к менее нагретым прилегающим тканям.

2. В экспериментальных данных зависимостей гидродинамических радиусов агрегатов альбумина от температуры нанодисперсной среды, полученных методом динамического рассеяния света, относительная погрешность принимала значения до 50 %. На основании полученной зависимости гидродинамических радиусов от температуры автор делает вывод о наличии в диапазоне температур 50-55 °С максимума. Однако, абсолютная погрешность измерений превышает разницу между максимальными и минимальными значениями гидродинамических радиусов, из чего следует недостаточность обоснованности вывода о наличии максимума.

3. Автором исследовалось влияние концентрации углеродных нанотрубок в нанодисперсной среде на прочность на разрыв формируемых с её помощью сварных швов. Используемая в работе концентрация в мас. % недостаточно полно характеризует конкретное количество молекул нанотрубок. Корректнее было бы использовать молярную концентрацию.

4. Исследования на прочность на разрыв лазерных сварных швов проводились как с использованием разных нанодисперсных сред, так и разных биологических тканей. Данный факт осложняет выявление влияния отдельных параметров (концентрации компонентов нанодисперсной среды, типа биоткани и прочих) лазерного сваривания на прочность на разрыв швов.

5. Не объясняется причина большой погрешности измерения зависимости размеров мономеров и малых агрегатов от температуры (стр.64 – 37.2 ± 16.2 нм, 4.1 ± 2 нм, 6.1 ± 3.2 нм) и влияние этой погрешности на результаты и выводы.

6. Утверждается, что «теплообмен в дисперсии и свариваемой ткани описывается уравнением теплопроводности» (стр. 50). Однако решения этого уравнения в диссертации нет. Между тем, сравнение теоретических результатов с экспериментальными только усилило бы данную работу. Кроме того, в рассматриваемом тепловом процессе есть фазовый переход, поэтому должна решаться «задача Стефана», а не задача теплопроводности.

От официального оппонента Завестовской И.Н. поступил положительный отзыв со следующими замечаниями:

1. В диссертации постановка задачи и формулировка решаемых в диссертации задач представлена во Введении до Первой главы, в которой представлен литературный обзор, на основании анализа данных которого логично представить постановку задачи диссертации.

2. Количество основных результатов, представленных в диссертации (10) и автореферате (6) отличается без анализа и указания причины несоответствия.

3. В описываемой математической модели процесса формирования лазерного сварного шва не учтена неоднородность пространственного распределения интенсивности лазерного излучения, а также влияние теплообмена за счёт конвекции на формирование как сварного шва, так и области температурного некроза соединяемых тканей.

4. В работе экспериментально показано изменение энергии активации и предэкспоненциального множителя в уравнении Аррениуса для фазового перехода денатурации альбумина при добавлении в нанодисперсную среду углеродных нанотрубок, но не приводится анализ причин таких изменений

От официального оппонента Хорькова К.С. поступил положительный отзыв со следующими замечаниями:

1. В диссертационной работе приводятся данные прочности на разрыв лазерных сварных швов для различных типов нанодисперсных сред, включающих одностенные и многостенные углеродные нанотрубки. Указывается массовая концентрация нанотрубок, однако, в силу различных геометрических размеров и количества слоев молярные концентрации более полно характеризовали бы используемые нанодисперсные среды;

2. Различные составы нанодисперсных сред испытывались на разных типах биологических тканей, что затрудняет оценку влияния конкретных компонентов сред на прочность на разрыв;

3. При денатурации в ходе формирования лазерных сварных швов альбумин образует новые химические связи в основном с функциональными группами, располагающимися на поверхности углеродных нанотрубок. В диссертационной работе использовались нанотрубки только с

функционализацией карбоксильными группами. Возможно использование других функциональных групп позволило бы дополнительно повысить прочность на разрыв лазерных сварных швов.

На автореферат диссертации Рябкина Д.И. поступило 7 отзывов. Все отзывы положительные.

1. Отзыв научного сотрудника НОЦ им. Б.П. Вейнберга Национального исследовательского Томского политехнического университета, к.т.н. Большасова Е.Н. содержит 4 замечания:

- не совсем корректно выбрано название «размер мономеров» для обозначения группы наименьших по размеру агрегатов, наблюдаемых в водной дисперсии БСА. Логично было бы ранжировать размер агрегатов по принципу «Наименьшие-Средние-Наибольшие»;

- в автореферате не приведены данные об объемах выборки для описанных экспериментов и статистической обработки полученных результатов;

- в таблицах №3-4 не представлены сведения о достоверных отличиях в полученных результатах;

- в тексте автореферата встречаются орфографические и грамматические ошибки.

2. Отзыв заведующего лабораторией новых материалов и перспективных технологий Национального исследовательского Томского государственного университета, к.ф.-м.н., доц. Светличного В.А. содержит 3 замечания:

- исследование водных нанодисперсных сред методом ДРС проводилось при меньших концентрациях компонентов, чем при лазерном сваривании. Отличающиеся условия экспериментов не позволяют гарантировать идентичность процессов, протекающих в нанодисперсных средах при исследовании методом ДРС и лазерном сваривании;

- также при исследовании зависимости гидродинамических радиусов агрегатов альбумина от температуры методом ДРС наблюдалась относительная погрешность до 50%, что не позволяет делать однозначные выводы о достижении максимума;

- в таблице 3 у значений прочности на разрыв нет погрешности.

3. Отзыв заведующего кафедрой хирургической стоматологии ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет) Минздрава России д.м.н. Тарасенко С.В. содержит 1 замечание:

- в рамках автореферата не обсуждалась возможность использования дополнительных компонентов нанодисперсных сред, повышающих интенсивность пролиферации клеток соединяемой биологической ткани.

4. Отзыв проректора по стратегическому развитию, профессора кафедры «Материаловедение и биомедицинская инженерия» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.», д.т.н. Фомина А.А. содержит 6 замечаний:

- считаю, что на рис. 1,2 можно было построить криволинейные зависимости, определить статистические показатели регрессионной модели;

- стр.14, можно ли утверждать, что именно эта длина волны $\lambda = 810$ нм является оптимальной для сварки или лучше указать некоторый диапазон изменения?

- что означает на рис.4 уточнение «ехо→»?

- в табл.1 и рис.4 должна быть связь с номерами образцов;

- при описании главы 4 в автореферате отсутствуют фотографии оптической микроскопии сварных соединений, что, на мой взгляд, представляет интерес. На представленных РЭМ изображениях не визуализируются частицы наполнителя. Не ясно с чем связано такое явление;

- в табл.3 представлены средние значения прочности, однако представляет интерес и отклонение от среднего. В табл.4 данный параметр присутствует.

5. Отзыв старшего научного сотрудника ФГБУН Институт радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова Российской академии наук, к.ф.-м.н. Орлова А.П. содержит 1 замечание:

- в работе предложено использование водных дисперсий белков и углеродных нанотрубок с возможностью добавления индоцианина для получения сложноструктурированных композитных материалов, обеспечивающих соединение биологической ткани. Указано, что такой

материал обеспечивает наибольшую прочность шва при температурах $55\pm^{\circ}\text{C}$. Без использования припоев максимальная прочность при отсутствии повреждения самой ткани достигалась при температуре $65\pm^{\circ}\text{C}$ [David Simhon и др. Closure of Skin Incisions on Rabbits by Laser Soldering: I: Would Healing Pattern // Lasers in Surgery and Medicine. – 2004. Vol.35. – N. – P. 1-11]. Однако, вызывает сомнения возможность контроля такого сложного состава водных дисперсий. Может происходить межкомпонентная агломерация, бычий сыворотный альбумин может иметь различия в составе аминокислот, а сами нанотрубки могут обладать разной киральностью и дефектностью.

6. Отзыв старшего научного сотрудника кафедры медицинской химии и тонкого органического синтеза МГУ имени М.В. Ломоносова, к.х.н. Дубининой Т.В. содержит 2 замечания:

- стр.3 С чем связано различие в спектре поглощения, точнее в характере основной полосы поглощения ИЦЗ в присутствии ОУНТ и МУНТ? Почему в случае МУНТ полоса поглощения более выражена?

-Что можно сказать о токсичности ИЦЗ, темновой и световой, не будет ли это оказывать негативное воздействие на сшиваемую кожу? Способен ли используемый ИЦЗ связываться с бычьим сыворотным альбумином или они сосуществуют в дисперсии не взаимодействуя?

7. Отзыв начальника отдела исследований и разработок микро- и наносистем ФГБУН Институт нанотехнологий микроэлектроники Российской академии наук, д.т.н. Зеновой Е.В. содержит 1 замечание:

- в автореферате из всех характеристик используемых углеродных нанотрубок указаны только их типы (одностенные и многостенные) и размеры. Однако, например, киральность является не менее важной характеристикой, от которой, в частности, зависит тип проводимости углеродных нанотрубок.

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 35 работ, опубликованных по теме диссертации, из них в рецензируемых научных изданиях – 20, опубликованных в трудах конференций – 11. Общий объем работ по теме диссертации составляет 4 печатных листа (авторский вклад 90 %).

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Gerasimenko A.Yu., Ten G.N., Ryabkin D.I., Shcherbakova N.E., Morozova E.A., Ichkitidze L.P. The study of the interaction mechanism between bovine serumalbumin and single-walled carbon nanotubes depending on their diameter and concentration in solid nanocomposites by vibrational spectroscopy // *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. —2019. —Vol. 227. —P. 117682 1-10.
2. M.S. Savelyev, N.O. Agafonova, P.N. Vasilevsky, D.I. Ryabkin, D.V. Telyshev, P.S. Timashev, A.Y. Gerasimenko. Effects of pulsed and continuous-wave laser radiation on the fabrication of tissue-engineered composite structures // *Optical Engineering*. —2020. —Vol. 59(6). 061623.
3. Герасименко А.Ю., Рябкин Д.И. Структурные и спектральные особенности композитов на основе белковых сред с одностенными углеродными нанотрубками // *Конденсированные среды и межфазные границы*. —2019. — No 21(2). —с. 191–203.
4. Rimshan I.B., Zhurbina N.N., Kurilova U.E., Ryabkin D.I. and Gerasimenko, A.Yu. Biocompatible Nanomaterial for Restoration of Continuity of Dissected Biological Tissues // *Biomedical Engineering*. —2018. —Vol. 1(52). —P. 23–26.
5. Gerasimenko A.Yu, Ichkitidze L.P., Pavlov A.A., Piyankov E.S., Ryabkin, D.I., Savelyev M.S., Selishchev S.V., Rimshan I.B., Zhurbina N.N. and Podgaetskii V.M. Laser system with adaptive thermal stabilization for welding of biological tissues // *Biomedical Engineering*. — 2016. —Vol. 6(49), No 6. —P. 344–348.

6. Gerasimenko A.Yu., Ichkitidze L.P., Piyankov E.S., Pyanov I.V., Rimshan, I.B., Ryabkin, D.I., Savelyev M.S. and Podgaetskii V.M. Use of Indocyanine Green in Nanocomposite Solders to Increase Strength and Homogeneity in Laser Welding of Tendons // Biomedical Engineering. —2017. —Vol. 5(50). —P. 310–313.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- получены экспериментальные данные, описывающие процесс формирования лазерных сварных швов;
- выявлен нелинейный характер зависимости гидродинамического радиуса агрегатов нанодисперсной среды от температуры, имеющий экстремумы при температуре 55 °С;
- экспериментально показано, что при использовании в качестве компонента нанодисперсной среды многостенных углеродных нанотрубок увеличивается прочности на разрыв, формируемых с использованием этой нанодисперсной среды, лазерных сварных швов;
- разработана математическая модель формирования лазерного сварного шва при использовании обратной температурной связи;
- изучено влияние компонентного состава нанодисперсных сред на основе многостенных и одностенных углеродных нанотрубок, альбумина и экзогенного хромофора индоцианина зелёного на прочность лазерных сварных швов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- установлены зависимости размеров агрегатов и теплоёмкостей водных нанодисперсных сред на основе углеродных нанотрубок и белков от температуры;
- определена зависимость агрегатного состава белковой дисперсии от температуры, имеющая выраженный нелинейный характер с экстремумами при температуре 55 °С;

- разработана математическая модель формирования лазерного сварного шва для применения в установках с использованием обратной температурной связи;
- выявлено влияние компонентного состава нанодисперсных сред на основе многостенных и одностенных углеродных нанотрубок, альбумина и экзогенного хромофора индоцианина зелёного на прочность лазерных сварных швов.

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

- показано, что введение углеродных нанотрубок в качестве компонента дисперсной среды при лазерном сваривании биологических тканей позволяет повысить прочность на разрыв шва более чем в 2 раза;
- найденные теплофизические характеристики и разработанная математическая модель процесса формирования лазерного сварного шва при использовании обратной температурной связи позволит точно рассчитывать необходимые параметры лазерного излучения для формирования шва на заданную глубину.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

- результаты, представленные в диссертационной работе, получены в ходе экспериментов с использованием современных и признанных методов исследования;
- использовалось сертифицированное, откалиброванное оборудование, показана воспроизводимость результатов исследований;
- установлено, что результаты, полученные в диссертационной работе, дополняют и расширяют научные знания по проблематике диссертации и соответствуют существующим теоретическим представлениям.

Личный вклад соискателя состоит в выборе темы, постановке задач исследования, проведении экспериментов, построении математической модели, обработке и анализу экспериментальных данных, а также участии в апробации

результатов исследования. Статьи, тезисы докладов, патенты и программы для ЭВМ написаны автором лично или при участии автора.

Диссертационная работа соответствует требованиям паспорта специальности 1.3.8 (01.04.07) – «Физика конденсированного состояния».

На заседании 28 октября 2021 г. диссертационный совет принял решение присудить Рябкину Дмитрию Игоревичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 7 докторов наук по специальности 1.3.8 (01.04.07) – «Физика конденсированного состояния», участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 18, 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 18 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.

Костина М.В.

«01» ноября 2021 г.

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

Ученый секретарь
ИМЕТ РАН, к.т.н.



Фомина О.Н.