

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 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 03.12.2020 № 10/20

О присуждении Соловьевой Юлии Борисовне, гражданке Российской
Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка криомеханического упрочнения
авиационного сплава В95», представленная на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 05.16.01 - «Металловедение
и термическая обработка металлов и сплавов» принята к защите 27 августа
2020 г., протокол № 6/20, диссертационным советом Д 002.060.01,
созданным 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 Соловьева Юлия Борисовна 1989 года рождения. В 2013
году окончила Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего профессионального образования «Национальный
исследовательский технологический университет «МИСиС» (г. Москва) по
направлению подготовки Металлургия. В 2019 г. окончила аспирантуру
ИМЕТ РАН по направлению 22.06.01 «Технологии материалов»,
направленности подготовки – Металловедение и термическая обработка

металлов и сплавов. Работает инженером по криогенным жидким продуктам в ООО «ЭР ЛИКИД».

Диссертация выполнена в группе высоковольтной электронной микроскопии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – Ермишкин Вячеслав Александрович, доктор физико-математических наук, руководитель группы высоковольтной электронной микроскопии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

1. Муратов Владимир Сергеевич, доктор технических наук, проф., профессор кафедры «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» (СамГТУ);

2. Кунавин Сергей Алексеевич, кандидат технических наук, главный научный сотрудник АО «НПО «Центральный научно-исследовательский институт технологии машиностроения» (АО «НПО «ЦНИИТМАШ»)

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Акционерное общество «Композит», г. Королев, в своем положительном отзыве, подписанном главным металлургом, доктором технических наук Бутримом В.Н., председателем секции НТС, кандидатом технических наук Гусаковым М.С. и секретарем секции НТС, кандидатом технических наук Богдановым С.Н., и утвержденном первым заместителем генерального директора АО «Композит», доктором технических наук Тимофеевым А.Н., указала, что диссертационная работа Соловьевой Ю.Б. представляет собой законченную научно-

исследовательскую работу, в которой получены оригинальные научные результаты, представляющие теоретическую и практическую ценность, также указала, что по актуальности, достоверности, методическому уровню исследования, научной новизне и значимости полученных результатов, диссертация соответствует п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ и паспорта специальности 05.16.01- «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов». Автор работы Ю.Б. Соловьева заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 - «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Соискатель имеет 14 работ, опубликованных по теме диссертации, из них в рецензируемых научных изданиях - 2, опубликованных в трудах конференций - 12. Общий объем работ по теме диссертации составляет 4 печатных листа (авторский вклад 70 %).

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Ермишкин В.А., Соловьева Ю.Б., Кулагин С.П., Минина Н.А., Томенко А.К Оценка трещиностойкости в рамках механики и физики разрушения//Сб трудов VIII-ой Евразийской научно-практической конференции «Прочность неоднородных структур». – Москва, НИТУ «МИСиС», с 181.
2. Соловьева Ю.Б. Влияние структурного состояния на трещиностойкость сплава В95// Сб. Трудов XIII Российской ежегодной конференции молодых научных сотрудников и аспирантов «Физико - химия и технология неорганических материалов». – М: ИМЕТ РАН, 2016, с 62.
3. Соловьева Ю.Б. Применение метода фотометрического анализа структурных изображений для оценки трещиностойкости сплава В95 после криомеханической обработки// Сб. Трудов Третьего междисциплинарного молодежного научного форума с международным участием «Новые материалы», - М: ООО «Буки Веди», 2017, с 341.

4. Effect of cryogenic treatment on the fracture toughness of aircraft aluminum alloy 7075 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 347 (2018) 012054 doi:10.1088/1757-899X/347/1/012054

5. Ермишкин. В.А., Соловьева Ю.Б. Роль структурных факторов в формировании механических характеристик материалов. Фундаментальные проблемы современного материаловедения, №1, 2019г., т.16 с 112-117 DOI: 10.25712/ASTU.1811-1416.2019.01.016

В положительном отзыве ведущей организации имеются следующие замечания:

1. В литературном обзоре недостаточное внимание уделено современным методам оценки трещиностойкости, в том числе и оптическим, в качестве сравнения к предложенному методу фотометрического анализа структурных изображений (ФАСИ).

2. Оценка прочности проведена в условиях сжатия, что не является стандартным методом при оценке комплекса механических свойств.

3. В формулах 34 и 41 различные величины обозначены символом E , в формуле 34 – это энергия, в формуле 41 – модуль упругости. В работе не приведены изменения модуля упругости материала.

4. Не очевиден в работе выбор электроискрового надреза в качестве исходной предварительно нанесенной трещины взамен нанесения усталостной трещины в соответствии со стандартом ГОСТ 25.506-85.

5. Не проведены фрактографические исследования и не определен фазовый состав изломов образцов.

От официального оппонента Муратова В.С. поступил положительный отзыв со следующими замечаниями:

1. Нет описания методики определения подбора параметров режимов упрочнения для каждой стадии криомеханической обработки (КМО) с помощью фотометрического анализа структурных изображений (ФАСИ).

2. Стр. 87 в разделе 4.4. не совсем понятно, что автор подразумевает под «ячеистой структурой», полученной в результате применения криомеханического упрочнения.

3. При оценке интегральной прочности сплава В95 по методу ФАСИ не очевидно, какими механизмами упрочнения обусловлены парциальные значения прочностей структурных составляющих.

4. Использование сканирующей электронной микроскопии позволило бы получить более достоверную информацию о структуре и фазовом составе образцов с покрытиями из титана и меди. Автор в работе сформировал предположения о наличии в составе покрытия фазы $TiAl_3$, базируясь на данных диаграммы состояния двойной системы Al -Ti.

5. Стр. 94 в таблице 18 некорректно указано среднее значение предела прочности σ_b , определенное методом ФАСИ.

6. Чем обоснован режим старения после криомеханического упрочнения сплава В95 (температура и длительность)? В сравнении с промышленной технологией двухступенчатым длительным старением (I - $T=123^\circ C$, $t=24$ ч, II - $T=165^\circ C$, $t=18$ ч) предлагаемый автором режим старения ($T = 45^\circ C$, $t=30$ мин) отличается на порядок в отношении длительности старения и в несколько раз в отношении температуры нагрева.

От официального оппонента Кунавина С.А. поступил положительный отзыв со следующими замечаниями:

1. С помощью метода ФАСИ получены данные с поверхности образца. Каким образом эти данные отражают полноценную информацию относительно всего объема образца?

2. Отсутствуют пояснения к таблице 5: почему выбраны именно такие значения r ?

3. Метод ФАСИ основан на расчете спектров яркости отражения, которые напрямую зависят от шероховатости материала и связаны с внутренней энергией образца. Идентичные образцы с разным уровнем

шероховатости будут иметь разные уровни внутренней энергии. Каким образом автор учитывает эти отклонения? Также существует вероятность, что в процессе нагружения, нагружающая образец система, состоящая из неидеальной силовой цепочки может приводить к смещению образца в процессе нагружения или асимметрии, что также будет приводить к мнимым изменениям внутренней энергии образца.

4. Несмотря на экспериментально подтвержденное соответствие результатов оценки трещиностойкости на образцах с трещиной, зарожденной электроискровым способом, и образцах с усталостной трещиной, выбор в качестве трещины «грубого» электроискрового надреза сопряжен с повышенной вероятностью возникновения пластической зоны в вершине трещины в процессе испытания и снижения достоверности полученных результатов. В особенности это касается алюминиевых сплавов, в случае которых дислокации склонны к множественному скольжению уже на начальных этапах деформации.

На автореферат диссертации Соловьевой Ю.Б. поступило 7 отзывов. Все отзывы положительные.

1. Отзыв начальника отдела 208 «Прогнозирование ресурса деталей авиационных ГТД» Исследовательского центра 2000 «Динамика, прочность, надежность» ФГУП «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И.Баранова» д.т.н. Туманова Н.В. содержит 2 замечания:

1) При обозначении критических значений коэффициента интенсивности напряжений K_{Ic} в ряде случаев отсутствует нижний индекс «с».

2) Процедура определения K_{Ic} методом ФАСИ, проиллюстрированная на рисунке ба, не вполне корректно описывается формулами (5) и (12).

2. Отзыв начальника центра прикладного материаловедения ООО «Научно-исследовательский институт разработки и эксплуатации нефтепромысловых труб», к.т.н. Михеева Д.А. содержит 1 замечание:

1) Недостаточное внимание к структурным исследованиям упрочненного сплава В95 после нанесения покрытий из титана и меди, и отсутствие анализа изломов образцов, что не позволило получить доказательное подтверждение фазового состава покрытий и наглядное представление о видах разрушения после различных режимов обработки.

3. Отзыв руководителя научного направления Института проблем машиноведения РАН - филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук», д.ф-м.н., профессора, заслуженного деятеля науки РФ Перевезенцева В.Н. содержит 2 замечания:

1) В автореферате не приведены результаты рентгеноструктурного анализа, о которых упоминается в методологической части работы.

2) Не очевидны причины выбора нестандартных образцов для испытаний на трещиностойкость, которые являются ключевыми по своей значимости в представленной работе.

4. Отзыв Заведующего кафедрой физики, химии и теоретической механики ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», д.ф-м.н., доцента Соловьевой Ю.В. не содержит замечаний.

5. Отзыв исполняющего обязанности заведующего лабораторией физико-химической инженерии композиционных материалов, главного научного сотрудника ФГБУН «Институт проблем химической физики» РАН, д.ф-м.н., профессора, заслуженного деятеля науки РФ Колобова Ю.Р. содержит 1 замечание:

1) многие выводы автореферата основаны на связи эффекта увеличения механических свойств с формированием мелкодисперсных выделений $MgZn_2$ и $CuAl_2$ фаз. Вместе с тем следует отметить, что в тексте

автореферата нет информации об индцировании современными аналитическими методами электронной микроскопии перечисленных упрочняющих мелкодисперсных частиц фаз, а также не указан их средний размер и гистограммы распределения частиц по размерам.

6. Отзыв заведующего лабораторией Физики поверхностных явлений ФГБУН «Институт физики прочности и материаловедения» СО РАН д.ф.-м.н., доц. Панина А.В. содержит 2 замечания:

1) В выводах по работе утверждается, что увеличение характеристик прочности и трещиностойкости сплава В95 после КМО достигается в результате формирования мелкофрагментированной ячеистой дислокационной структуры с мелкодисперсными выделениями фаз $MgZn_2$ и $CuAl_2$ на дислокациях при старении. Однако ни в автореферате, ни в самой диссертации не представлено каких-либо результатов исследования дислокационных структур.

2) В работе утверждается, что нанесение методом PVD покрытий из титана толщиной 15-20 мкм обеспечивает увеличение трещиностойкости образцов сплава В95 за счет образования упрочняющих фаз $TiAl_3$, препятствующих выходу дислокаций на поверхность. Этот результат требует пояснения, а также доказательства наличия этих фаз.

7. Отзыв научного сотрудника лаборатории «Материаловедение и технология легких сплавов» ФГБУН «Институт проблем сверхпластичности металлов РАН» к.т.н. Крымского С.В. содержит 2 замечания:

1) Из данных таблицы 1 видно, что один из образцов (исх.№4) показал заниженные механические свойства ($\sigma_{0,2}=332$ МПа, $\sigma_B=606$ МПа). Отсутствуют комментарии автора о причинах такого отклонения.

2) Из текста автореферата не ясно, чем обусловлен выбор нестандартных малогабаритных образцов для оценки трещиностойкости, а также выбор режимов деформации низкотемпературного сжатия (степень деформации 0,3% и 0,4%) для сплава В95.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетенцией, наличием публикаций и достижений в области металловедения и термической обработки металлов и сплавов, квалификацией, способностью определить актуальность, научную и практическую ценность представленной диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработана упрочняющая технология высокопрочного сплава В95 с применением деформации в криогенных средах, позволяющая повысить предел прочности сплава с одновременным повышением трещиностойкости.
- предложен новый подход к оценке трещиностойкости сплава В95 с учетом структурного состояния материала на малогабаритных образцах с помощью неразрушающего бесконтактного метода ФАСИ, который основывается на сравнительном анализе видеоизображений и спектров яркости отражения от поверхности образцов в разные моменты нагружения образца.
- предложен оригинальный метод изучения кинетики развития разрушения сплава В95, совмещающий измерения длины трещины и ее раскрытия посредством измерения площади, охваченным контуром трещины.
- предложена методика оценки энергии зарождения трещин в материале, а также новый подход к оценке интегральной прочности сплава В95.
- доказана перспективность использования предлагаемого метода оценки трещиностойкости в практике аттестации долговечности конструкций в процессе эксплуатации.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- доказано положительное влияние упрочняющей криомеханической технологии на прочность и трещиностойкость сплава В95, а также

возможность повышения трещиностойкости сплава В95 с помощью покрытий титана;

- применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован комплекс современных методов исследования, в том числе, аналитических и численных методов, экспериментальных методик;

- с использованием метода ФАСИ изучен процесс деформирования сплава, получены кинетические кривые, описывающие стадийность развития процесса разрушения, определены значения средних напряжений в области развития трещины и макроскопические характеристики разрушения коэффициента интенсивности напряжений (K_{Ic}).

- изучены особенности структурно-механического поведения сплава В95 после криомеханической обработки, включающей упрочняющую термическую обработку и пластическую деформацию в криогенных средах.

- установлено, что результаты, полученные в диссертационной работе, дополняют и расширяют научные знания по проблематике диссертации и соответствуют существующим теоретическим представлениям.

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

- разработанная упрочняющая обработка может быть опробована в условиях промышленного производства для упрочнения высокопрочных нагруженных конструкций авиационного назначения, дополнительное упрочнение отдельных участков конструкционных изделий может быть выполнено путем локального нанесения покрытий из титана.

- разработанная методика оценки трещиностойкости может быть использованная в качестве альтернативного метода оценки трещиностойкости в исследовательской практике или в качестве неразрушающего метода оценки долговечности реальных конструкционных изделий, находящихся в эксплуатации.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

- результаты, представленные в диссертационной работе, получены на основе экспериментов, проведенных на современном научном оборудовании и с использованием апробированных аналитических методов; достоверность результатов, полученных с применением метода ФАСИ обеспечена сопоставимостью с результатами, полученными при использовании соответствующих нормативных стандартов и подтверждена их воспроизводимостью;
- полученные результаты интерпретированы на основе известных положений материаловедения, теории термической обработки, физики прочности и механики разрушения. Полученные новые результаты не противоречат ранее опубликованным данным и теоретическим положениям.
- установлено качественное и количественное совпадение полученных экспериментальных и теоретических результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике.

Личный вклад соискателя состоит в постановке задачи и участии на всех этапах процесса проведения исследований, непосредственном участии в получении исходных данных и научных экспериментах, обработке и интерпретации теоретических и экспериментальных данных, выполненных лично автором или при участии автора. Статьи и тезисы докладов на всероссийских и международных конференциях написаны лично автором или при участии автора.

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

На заседании 03 декабря 2020 г. диссертационный совет принял решение присудить Соловьевой Юлии Борисовне ученую степень кандидата технических наук.

При проведении голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 4 доктора наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов», участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – нет. Решение диссертационного совета принималось открытым голосованием в соответствии с Приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Об особенностях порядка организации работы советов по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук» №734 от 22 июня 2020 г., направленным на предотвращение распространения новой коронавирусной инфекции (COVID-19), ввиду удаленного участия 5 членов диссертационного совета из 14 участвовавших в заседании.

Председатель

Диссертационного совета
Д 002.060.01, д.т.н., проф.

Поварова К.Б.

Ученый секретарь

Диссертационного совета
Д 002.060.01, д.т.н., проф.

Рощупкин В.В.

«09» декабря 2020 г.

Подписи К.Б. Поваровой и В.В. Рощупкина удостоверяю:

Ученый секретарь
ИМЕТ РАН, к.т.н.



Фомина О.Н.