

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.080.03
на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института проблем сверхпластичности металлов Российской академии наук
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 27 мая 2021 г., протокол № 5/21

О присуждении Галиевой Эльвине Венеровне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Твердофазное соединение интерметаллидного сплава на основе Ni_3Al и жаропрочного никелевого сплава с использованием сверхпластической деформации» по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» принята к защите 17 марта 2021 г., протокол № 2/21, диссертационным советом Д 002.080.03 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем сверхпластичности металлов Российской академии наук (ИПСМ РАН), адрес: 450001, г. Уфа, ул. Степана Халтурина, 39, приказ Министерства образования и науки РФ о создании совета - № 785/нк от 10.07.2015 г.

Соискатель Галиева Эльвина Венеровна, 1989 года рождения, в 2013 году окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ), в 2017 году – аспирантуру ИПСМ РАН. Соискатель работает младшим научным сотрудником лаборатории 10 «Сверхпластическая обработка перспективных материалов» ИПСМ РАН.

Диссертация выполнена в лаборатории 10 «Сверхпластическая обработка перспективных материалов» ИПСМ РАН.

Научный руководитель – д.т.н., старший научный сотрудник **Лутфуллин Рамиль Яватович**, главный научный сотрудник ИПСМ РАН.

Официальные оппоненты: **Люшинский Анатолий Владимирович**, д.т.н., заместитель главного технолога, начальник научно-исследовательской лаборатории сварочных технологий Акционерного общества «Раменское приборостроительное

конструкторское бюро» и **Медведев Александр Юрьевич**, д.т.н., доцент, доцент кафедры сварочных, литейных и аддитивных технологий УГАТУ, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» Новосибирский государственный технический университет (НГТУ) в своем положительном заключении, подписанном доктором технических наук, профессором кафедры «Материаловедение в машиностроении» **Буровым Владимиром Григорьевичем** и кандидатом технических наук, доцентом той же кафедры **Огневой Татьяной Сергеевной**, указала, что диссертационная работа Галиевой Э.В. выполнена на актуальную тему и представляет собой научно-квалификационную работу, в которой разработаны новые научно обоснованные технические решения. В отзыве содержатся замечания, которые не снижают научную и практическую значимость работы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что они являются компетентными в данной отрасли науки, широко известны своими достижениями в данной области и способны определить научную и практическую ценность диссертации. В НГТУ имеются ученые, являющиеся специалистами в области металловедения и термической обработки металлов и сплавов, материаловедения, физики металлов, сварки металлов и сплавов (д.т.н. Батаев В.А., д.т.н. Батаев И.А., д.т.н. Буров В.Г. и др.).

Соискатель имеет 27 печатных работ по теме диссертации, в том числе 20 статей опубликовано в рецензируемых зарубежных и отечественных журналах (из них 14 - в журналах, рекомендованных ВАК, 12 - в изданиях, индексируемых в базах данных (БД) Scopus, 8 - в изданиях, индексируемых в БД Web of Science, 1 – в журнале квартиля Q1), 5 публикаций в сборниках материалов конференций, 1 технологические рекомендации и 1 патент РФ. Наиболее значимыми публикациями являются статьи, опубликованные в журналах «Science and Technology of Welding and Joining (Q1)» (2018, v. 27, p. 612-618), «Письма о материалах» (2014, т. 4, с. 190-194; 2015, т. 5, с. 142-146; 2016, т. 6, с. 211-216), «Металлы» (2020, № 4, с. 48-55), а также

технологические рекомендации Инв. № ТР. 49 ИНЕБ-21 ИПСМ РАН и патент РФ на изобретение №2608118 «Способ изготовления биметаллического изделия». В диссертации отсутствуют достоверные данные об опубликованных соискателем научных работах.

На диссертацию и автореферат поступили 11 положительных отзывов:

1) Главного специалиста производственного комплекса «Салют» АО «Объединённая двигателестроительная корпорация» д.т.н., старшего научного сотрудника **Бурлакова Игоря Андреевича**. Имеется замечание: «В автореферате не приведены результаты исследований на длительную прочность твердофазных соединений ЭП975//ВКНА-25».

2) Профессора кафедры «Технология машиностроения» УГАТУ д.т.н., профессора **Смыслова Анатолия Михайловича**. Имеется замечание: «Было бы полезным проведение дополнительной оценки эксплуатационных свойств сварных образцов, полученных по разработанным режимам обработки с использованием сверхпластической деформации, применительно к реальным условиям промышленной эксплуатации биметаллических деталей ответственного назначения».

3) Профессора Отделения ядерной физики и технологий офиса образовательных программ / Института ядерной физики и технологий Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» д. ф.-м. н. **Исаенковой Маргариты Геннадьевны**. Имеются 2 замечания: «1) Из текста автореферата непонятно, как получено представленное на рисунке 2-а распределение сдвиговой деформации при сварке давлением образцов одноименного сплава ЭК61. Почему в одинаковых образцах при симметричной нагрузке развивается деформация разного знака? 2) На рис. 4-г представлена карта распределения зерен по ориентациям для обеих γ и γ' -фаз, приведенных на рис. 4-в. Фазы не различимы в EBSD-методе?».

4) Заведующего кафедрой «Транспорт и хранение нефти и газа» Санкт-Петербургского горного университета д.т.н., профессора **Щипачева Андрея Михайловича**. Есть замечание: «В тексте автореферата недостаточно ясно отражено, имеется ли пористость в рабочей части образцов из никелевых сплавов, испытанных на проявление традиционной и тем более, низкотемпературной сверхпластичности».

5) Директора Научно-образовательного центра ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии» Тамбовского государственного технического университета, д.т.н., профессора **Баронина Геннадия Сергеевича** (без замечаний).

6) Профессора кафедры литейных процессов и материаловедения Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова д.т.н., доцента **Сычкова Александра Борисовича**. Имеются 2 замечания: «1) По нашему мнению, объем работы – 195 стр., излишне велик, аналогичное замечание по количеству глав – 6; 2) На стр. 10 в описании главы 2 и методов исследования указан энергодисперсионный анализ (ЭДА) при РЭМ. Далее по тексту этот метод нигде не упоминается. Поясните, что исследовали при помощи ЭДА».

7) Ведущего научного сотрудника, и.о. заведующего лабораторией физикохимии и механики металлических материалов (№19) Института металлургии и материаловедения имени А.А. Байкова РАН наук, профессора кафедры МАИ, д.т.н., доцента **Костиной Марии Владимировны**. Имеются 3 замечания: «1) В работе представлены результаты по влиянию исходной микроструктуры при сварке давлением сплава ЭК61 в одноименном сочетании. Приведены сварные образцы, полученные при сварке давлением двух крупнозернистых образцов с использованием прослойки из ультрамелкозернистого сплава ЭК61. Почему не проводились аналогичные эксперименты по сварке давлением одноименных сплавов ЭП975 через прослойку с ультрамелкозернистой структурой? 2) В автореферате нет данных по оценке прочности сварных соединений в сочетании сплавов ЭК61//ВКНА-моно. 3) На рисунке 5 представлены графики распределения легирующих элементов в зоне твердофазного соединения в сочетании ЭП975//ВКНА-25. Шкала, нанесенная на ось ординат, мелкая, что затрудняет анализ зависимостей распределения легирующих элементов в зоне соединения».

8) Профессора кафедры «Материаловедение и технология обработки материалов» Московского авиационного института (национального исследовательского университета) д.т.н., профессора **Мамонова Андрея Михайловича**. Имеется замечание: «В автореферате автор пишет, что сварку давлением сплава ЭК61 проводили на установке ИМАШ 20-78, а сплава ЭП975 – на

испытательной машине Schenck Trebel типа RMS 100. Из текста автореферата не ясно почему сварка указанных сплавов выполнялась на различных установках».

9) Главного конструктора ОКБ «Мотор» к.т.н. **Болдырева Олега Игоревича** и заместителя главного металлурга ОКБ «Мотор» **Денисовой Натальи Николаевны**. Имеются 2 замечания: 1) В работе приводятся механические свойства сварных образцов испытанных при комнатной температуре, испытания образцов при рабочей температуре не проводились. 2) В работе не исследованы механические свойства соединений ЭК61+ВКНА-25 и ЭК61+ЭК61».

10) Заместителя начальника лаборатории титановых сплавов для конструкций планера и двигателя самолета ФГУП ВИАМ д.т.н. **Ночовой Надежды Алексеевны**. Имеются 2 замечания: «1) При эксплуатации детали газотурбинного двигателя подвергаются воздействию циклического изменения температур и нагрузок. Поэтому представляют интерес данные по анализу изменений микроструктуры и оценке прочности твердофазных соединений ЭП975//ВКНА-25, например, при испытаниях в условиях малоциклового нагружения. В работе таких исследований не приведено, но они могут потребоваться при переходе на стадию разработки опытно-промышленной технологии сварки давлением разноименных сплавов на основе никеля с использованием сверхпластической деформации. 2) Некоторые рисунки (3в, 4в и б) при печати получились темными, что затрудняет анализ микроструктур. Так на рисунке 6 (б, г, з) представлены микроструктуры сварных образцов после термической обработки, на которых плохо видны частицы второй γ' -фазы, выделяющиеся в γ -прослойках в интерметаллидном сплаве».

11) Ведущего научного сотрудника лаборатории «Физикохимия аморфных и нанокристаллических сплавов» Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, д.т.н. **Бахтеевой Натальи Дмитриевны**. Имеются 3 замечания: «1) В автореферате не описаны особенности развития рекристаллизации в присутствии «наследственных» крупных некогерентных выделений γ' -фазы, которые сохранились в образованной ультрамелкозернистой структуре смешанного типа. 2) При анализе влияния исходной структуры на твердофазную свариваемость сплавов поликристаллического ЭП975 и монокристаллического ВКНА-25 в автореферате не

рассмотрено влияние ориентации последнего, не указана ориентация плоскости контакта. 3) В автореферате не приведено соотношение температур полного растворения интерметаллидных фаз в сплавах и температур применяемых режимов обработки, что является важным для формирования конечной структуры».

В отзывах указано, что представленная работа имеет научную и практическую ценность, по новизне и актуальности соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны научно-обоснованные режимы получения ультрамелкозернистой структуры при деформационно-термической обработке деформируемых жаропрочных никелевых сплавов ЭП975 и ЭК61 (с различным типом упрочняющей фазы – $Ni_3Al(Ti)$ и Ni_3Nb , соответственно), что обеспечивает возможность сварки давлением в условиях как высокотемпературной, так и низкотемпературной сверхпластичности;

предложена научная идея получения твердофазного соединения деформируемых жаропрочных никелевых сплавов ЭП975 и ЭК61 с литыми монокристаллическими интерметаллидными сплавами на основе Ni_3Al типа ВКНА, заключающаяся в том, что сварка давлением осуществляется в условиях структурной сверхпластичности деформируемых никелевых сплавов, а действующие механизмы сверхпластической деформации приводят к активизации процессов гетеродиффузии в зоне твердофазного соединения, при этом интерметаллидный сплав практически не подвергается пластической деформации и сохраняет исходную монокристаллическую структуру;

разработана оригинальная установка и предложена методика высокотемпературной сварки давлением с использованием сверхпластической деформации для получения твердофазных соединений деформируемого жаропрочного никелевого сплава ЭП975 с литыми монокристаллическими интерметаллидными сплавами на основе Ni_3Al типа ВКНА;

выявлены закономерности формирования градиентных структур в зоне твердофазного соединения деформируемого жаропрочного никелевого сплава ЭП975 и литого монокристаллического интерметаллидного сплава на основе Ni₃Al типа ВКНА в зависимости от исходной микроструктуры сплава ЭП975, степени и температуры деформации;

доказана возможность увеличения прочности сварных соединений из разноименных сплавов ЭП975//ВКНА-25 до значений 0,7-1 от прочности сплава ВКНА-25 за счет повышения температуры и степени деформации, а также глубины вакуума и последующей термической обработки.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что

доказана положительная роль сверхпластической деформации одного из соединяемых сплавов в формировании твердофазного соединения из разноименных жаропрочных никелевых сплавов как при повышенных (1075-1175°С), так и при пониженных температурах (800-950°С). Совокупность полученных экспериментальных данных позволяет расширить представления о влиянии структуры, фазового и химического состава сплавов на формирование качественных соединений из разноименных сплавов на основе никеля, различающихся не только по свойствам, но и по способу изготовления;

изучены причинно-следственные связи между структурой, режимами сварки давлением и последующей термической обработки с прочностью и характером разрушения полученных твердофазных соединений из разноименных жаропрочных никелевых сплавов.

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

Представлены технологические рекомендации Инв. № ТР. 49 ИНЕБ-21 ИПСМ РАН по подготовке ультрамелкозернистой структуры в сплавах ЭК61 и ЭП975 с различным типом упрочняющей фазы.

Разработан способ изготовления биметаллического изделия, защищенный патентом РФ №2608118. Предложенное изобретение может найти применение в авиадвигателестроении при изготовлении изделий, в которых предусмотрено

использование неразъемных соединений, в частности деталей типа «Блиск» для авиационных и вертолетных газотурбинных двигателей нового поколения, а также наземных энергетических установок.

Разработана оригинальная экспериментальная установка, позволяющая достичь вакуум не ниже $P=5 \cdot 10^{-2}$ Па и установлены режимы сварки давлением с использованием сверхпластической деформации одного из свариваемых сплавов для получения качественных твердофазных соединений, что было продемонстрировано для деформируемого жаропрочного никелевого сплава ЭП975 и монокристаллического интерметаллидного сплава ВКНА-25 на основе Ni_3Al , для которых удалось достичь прочности сварного соединения на уровне свойств основного материала ВКНА-25.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

все результаты, представленные в диссертационной работе, выполнены на аттестованном оборудовании центра коллективного пользования ИПСМ РАН, обеспечившем высокую воспроизводимость результатов исследования;

интерпретация полученных результатов выполнена на основе известных положений материаловедения, теории термической обработки, физики прочности. Новые результаты не противоречат ранее опубликованным данным и теоретическим положениям;

проведен совместный анализ результатов экспериментального и компьютерного моделирования твердофазного соединения жаропрочных никелевых сплавов с использованием эффекта сверхпластичности;

использовано сравнение авторских данных по микроструктуре, фазовому составу, механическим свойствам с данными, имеющимися в научной литературе, полученными ранее;

установлено количественное и качественное совпадение полученных экспериментальных и теоретических результатов и их корреляция с результатами, представленными в независимых источниках по рассматриваемой тематике;

при анализе результатов использованы современные методики сбора и статистической обработки исходной и полученной информации.

