

12

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.105.01,  
созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института проблем сверхпластичности металлов Российской академии наук  
(ИПСМ РАН), по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 17 октября 2023 г., протокол № 3/23

О присуждении Мухаметгалиной Айгуль Ахтамовне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Влияние ультразвуковой обработки и сварки на структуру и механические свойства титана» по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния принята к защите 8 августа 2023 г. (протокол заседания № 2/23) диссертационным советом 24.1.105.01, созданным на базе 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 Мухаметгалина Айгуль Ахтамовна, дата рождения 12.10.1989, в 2014 году окончила магистратуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Башкирский государственный университет» (БашГУ) по направлению подготовки 011200 «Физика», в 2018 году – очную аспирантуру БашГУ по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия» по специальности «Физика конденсированного состояния».

Соискатель работает младшим научным сотрудником в лаборатории 11 «Физика и механика углеродных наноматериалов» ИПСМ РАН.

Диссертация выполнена в лаборатории 11 «Физика и механика углеродных наноматериалов» ИПСМ РАН.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, Назаров Айрат Ахметович, главный научный сотрудник лаборатории 09 «Нелинейная физика и механика материалов», заместитель директора по научной работе ИПСМ РАН.  
Научный консультант: кандидат технических наук, доцент Мурзинова Мария

Александровна, старший научный сотрудник лаборатории 10 «Сверхпластическая обработка перспективных материалов» ИПСМ РАН – дали положительные отзывы на диссертацию.

Официальные оппоненты:

1. Макаров Алексей Викторович, доктор технических наук, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник, заведующий отделом материаловедения, заведующий лабораторией механических свойств ФГБУН Института физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург;

2. Панин Алексей Викторович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией физики поверхностных явлений ФГБУН Института физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Институт проблем машиностроения РАН - филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук», г. Нижний Новгород, в своем положительном отзыве, подписанном доктором физико-математических наук, профессором, заслуженным деятелем науки РФ, руководителем научного направления ИПМ РАН, и.о. заведующего лабораторией физического материаловедения Перевезенцевым Владимиром Николаевичем и утвержденная заместителем директора по научной работе Федерального исследовательского центра «Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук», доктором физико-математических наук, профессором Глявиным Михаилом Юрьевичем, указала, что диссертация А.А. Мухаметгалиной «Влияние ультразвуковой обработки и сварки на структуру и механические свойства титана» выполнена на актуальную тему, результаты имеют научную новизну, достоверность результатов и выводов вполне обоснована; проанализировала структуру и основное содержание работы; подчеркнула теоретическую и практическую значимость исследования; подтвердила соответствие содержания автореферата тексту диссертации; сделала замечания, не снижающие ценности результатов и заключила, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержатся новые

научно обоснованные сведения, связанные со структурными изменениями в кристаллических материалах под действием высокочастотных колебаний и имеющие высокую значимость для развития физики конденсированного состояния.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что они являются признанными специалистами в направлениях физики конденсированного состояния и металловедения, связанных с воздействием на материалы ультразвуковых колебаний, широко известны в мире своими научными достижениями в этой области, способны определить научную и практическую ценность данной диссертации. Ведущая организация широко известна своими научными достижениями в области волновых процессов в материалах и конструкциях, физики металлов и сплавов, представлена специалистами с мировым именем как д.ф.-м.н. Перевезенцев В.Н., д.ф.-м.н. Ерофеев В.И., д.ф.-м.н. Сарафанов Г.Ф. и др.

Основное содержание диссертации отражено в 11 работах, опубликованных в журналах, рекомендованных ВАК и индексируемых в международных базах данных Scopus и/или Web of Science, 3 из которых относятся к журналам квартиля Q1 и 1 – к журналам категории K1. Наиболее значимыми публикациями являются статьи, опубликованные в журналах Metallurgical and Materials Transactions A (2022, V. 53, P. 1119–1131), Metals and Materials International (2022, V. 28, P. 1257–1263), Physics Letters A (2020, V. 384, Art. 126906).

На диссертацию и автореферат поступили положительные отзывы:

1. Главного научного сотрудника лаборатории узлов трения для экстремальных условий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, д.т.н., профессора **Столярова Владимира Владимировича**. Имеются вопросы и замечания: 1) Важно было бы оценить, какую часть общего влияния УЗО составляет тепловой вклад. На рис.6 видно, что образцы до и после УЗО испытывают сверхпластическое поведение? Не является ли оно следствием нагрева при растяжении?; 2) Вопреки заключению автора, на рис.5 видно влияние амплитуды напряжений, как релаксационное (0-60 МПа), так и упрочняющее (60-100 МПа). Как автор объясняет такое поведение?; 3) Сплавы ВТ5 и ВТ6 несмотря на близкий химический состав отличаются фазовым составом. Играет ли и какую роль вторая

фаза (бета) во влиянии УЗО? 4) Нет информации, какой вид УЗ колебаний применялся, поперечные или продольные; 5) С физической точки зрения важным было бы исследовать in-situ воздействие УЗО при растяжении.

2. Ведущего научного сотрудника Белгородского государственного национального исследовательского университета (НИУ БелГУ), д.ф.-м.н. **Миронова Сергея Юрьевича**. Имеются вопросы: 1) Как следует из результатов работы, переход от ультразвуковой обработки к ультразвуковой сварке способствовал резкой активизации микроструктурных процессов. На мой взгляд, это любопытный эффект, природа которого заслуживает дополнительного внимания. Обусловлен ли он увеличением амплитуды колебаний или же это всего лишь артефакт, связанный с интенсивным трением на контактной поверхности?; 2) Также интересен механизм разогрева материала в ходе ультразвуковой сварки. Объясняется ли данный эффект простым трением или же там задействованы какие-то дополнительные экзотические механизмы, в частности, ускорение микроструктурных процессов за счет интенсивной генерации вакансий в ходе ультразвуковых колебаний? Проводились ли измерения температуры в зоне сварного шва?

3. Главного научного сотрудника, и.о. зав. лабораторией физико-химической инженерии композиционных материалов ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН, д.ф.-м.н., профессора **Колобова Юрия Романовича** и старшего научного сотрудника лаборатории физико-химической инженерии композитных материалов ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН, к.т.н. **Манохина Сергея Сергеевича**. Имеются вопросы и замечания: 1) В автореферате не приведено обоснования выбора сплавов для исследований, поэтому остается неясным: с чем связан выбор для исследований именно сплавов ВТ1-0, ВТ5 и ВТ6?; 2) В автореферате не приведены данные об уточненном экспериментально элементном составе изучаемых технических сплавов. Это представляется важным поскольку ГОСТ по титановым сплавам допускает некий интервал возможных концентраций легирующих элементов; 3) В положениях, выносимых на защиту, и в разделе о новизне не отражено сопоставление особенностей проявления обнаруженных эффектов в различных сплавах. Поэтому не ясно, имеются ли отличительные особенности таких эффектов для сплавов

различного состава; 4) В положении на защиту №4 и пункте новизны №4 сообщается о полиморфном  $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \alpha$  превращении. Известно, что температура такого превращения порядка 900°C для технически чистого титана. На каких фактах основано заключение о превышении температуры полиморфного превращения в области сварного шва? Проводилось ли измерение температуры в зоне шва и каким методом? Проиллюстрированные на рисунках 14-17 сформированные структуры могут быть следствием рекристаллизации при гораздо меньших температурах, чем необходимые для полиморфного превращения. Известно, что обратное полиморфное превращение в титане сопровождается формированием пластинчатой структуры, в то время как на приведенных изображениях наблюдаются элементы структуры глобулярной формы.

4. Директора научно-исследовательского института прогрессивных технологий, профессора кафедры «Нанотехнологии, материаловедение и механика» ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», д.ф.-м.н., профессора **Мерсона Дмитрия Львовича**. Имеется замечание: В качестве замечания к диссертационной работе можно отметить, что полученные на основе молекулярно-динамического моделирования воздействия УЗО на границы зерен на примере бикристаллов титана значения критических деформаций, приводящих к генерации дислокаций, на уровне 3% являются неадекватными, т.к. такие деформации в упругой области для титана соответствуют примерно 3000 МПа (!). Объяснение автора о том, что это, возможно, связано с неучетом наличия естественных дефектов, вряд ли может быть принято, как решающее.

5. Профессора кафедры «Материаловедение и нанотехнологии» Института инженерных и цифровых технологий ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», д.т.н., профессора **Салищева Геннадия Алексеевича**. Имеются вопросы и замечания: 1) Очевидное влияние природы материала из-за разности модулей упругости на амплитуду деформаций при ультразвуковой обработке не позволяет принять сравнение этой характеристики в титане с подобной в никеле; 2) Автор представляет модель фазово-структурных изменений при формировании твердофазного соединения в процессе ультразвуковой сварки титана. Однако, представленный материал по сути своей есть

лишь чисто схема, описывающая некоторую последовательность событий в структуре в ходе сварки.

6. Ведущего научного сотрудника лаборатории физики твердого тела Института физики молекул и кристаллов Уфимского федерального исследовательского центра РАН, д.ф.-м.н. Гундерова Дмитрия Валерьевича. Без замечаний.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

выявлен эффект увеличения плотности дислокаций и концентрации вакансионных кластеров в деформированном сплаве ВТ5 после ультразвуковой обработки с амплитудой напряжений 100 МПа;

обнаружен эффект снижения напряжения течения, увеличения удлинения до разрушения и скоростной чувствительности напряжения течения при испытаниях на сверхпластичность сплава ВТ6, подвергнутого равноканальному угловому прессованию, за счет ультразвуковой обработки;

методом молекулярной динамики продемонстрирован один из механизмов снижения дальнодействующих напряжений в титане за счет генерации решеточных дислокаций неравновесными границами зерен при воздействии внешних осциллирующих напряжений;

определены режимы ультразвуковой сварки, обеспечивающие получение твердофазных соединений листов титана толщиной 0,5 мм;

предложена схема эволюции микроструктуры при формировании твердофазного соединения в процессе ультразвуковой сварки технически чистого титана.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

доказаны положения, которые вносят вклад в понимание механизмов физического воздействия высокочастотных колебаний в широком интервале амплитуд деформаций на структуру и свойства титана;

изложены стадии эволюции микроструктуры в процессе формирования соединений листов титана с помощью ультразвуковой сварки;

применительно к проблематике диссертации эффективно использован комплекс существующих базовых методов исследования, в т.ч. численных методов, для выявления закономерностей влияния высокочастотных колебаний на структуру и свойства титана;

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

определены перспективы практического использования установленного в работе эффекта увеличения показателей сверхпластичности при 600°C прессованных заготовок сплава ВТ6, подвергнутых ультразвуковой обработке, в технологических процессах, основанных на эффекте сверхпластичности;

установлены режимы ультразвуковой сварки, обеспечивающие получение твердофазных соединений листов титана толщиной 0,5 мм, прочность которых сопоставима с прочностью соединений, полученных точечной контактной сваркой.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

результаты экспериментальных исследований получены на сертифицированном оборудовании с использованием современных гостированных методов исследования;

для численных исследований использованы хорошо апробированные методики и программы;

установлено качественное совпадение и объяснимые отличия авторских результатов с результатами, представленными в других источниках по данной тематике.

**Личный вклад соискателя** состоит в самостоятельном выполнении основной экспериментальной работы, обработке и анализе полученных результатов, в апробации результатов исследования, а также в непосредственном участии в постановке цели и задач, обсуждении результатов и подготовке публикаций.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: из доклада не ясно, как были рассчитаны амплитуды напряжений при ультразвуковой обработке; не рассмотрена роль частоты в наблюдаемых эффектах; допущены некоторые неточности в использовании терминов. Соискатель

Мухаметгалина А.А. ответила на заданные ей вопросы, согласилась с критическими замечаниями и привела дополнительные пояснения.

Диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842. В диссертационной работе изложены новые, научно-обоснованные результаты исследования воздействия высокочастотных колебаний различной интенсивности на структуру и механические свойства титановых сплавов, имеющие важное значение для физики конденсированного состояния.

На заседании 17 октября 2023 г. диссертационный совет принял решение присудить Мухаметгалиной А.А. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве «16» человек, из них «9» докторов наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния, участвовавших в заседании, из «22» человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени – «16», против присуждения ученой степени – «0», недействительных бюллетеней – «0».

Председатель  
диссертационного совета



Мулюков Радик Рафикович

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Автократова Елена Викторовна

18 октября 2023 г.

Заключение подготовил:

Председатель комиссии  
диссертационного совета

Корзникова Галия Фердинандовна