



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИПСМ РАН
Р.М. Имаев
«05» _____ 2023 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем сверхпластичности металлов Российской академии наук (ИПСМ РАН)

Диссертация «Влияние ультразвуковой обработки и сварки на структуру и механические свойства титана» выполнена в лаборатории 11 «Физика и механика углеродных наноматериалов».

В период подготовки диссертации соискатель Мухаметгалина Айгуль Ахтамовна работала в лаборатории 11 «Физика и механика углеродных наноматериалов» в должности младшего научного сотрудника. В 2014 году окончила магистратуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Башкирский государственный университет» по специальности 011200 «Физика». В 2018 году окончила очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Башкирский государственный университет» по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия» по специальности «Физика конденсированного состояния».

Научный руководитель – доктор физико-математических наук Назаров Айрат Ахметович, главный научный сотрудник, заместитель директора ИПСМ РАН по научной работе по внутреннему совместительству.

Научный консультант – кандидат технических наук, доцент Мурзинова Мария Александровна, старший научный сотрудник лаборатории 10 «Сверхпластическая обработка перспективных материалов» ИПСМ РАН. Мурзинова М.А. осуществляла научное консультирование при выполнении исследований и анализе структурных изменений в сплавах титана.

По результатам рассмотрения диссертации «Влияние ультразвуковой обработки и сварки на структуру и механические свойства титана» принято следующее заключение:

Диссертация Мухаметгалиной А.А. представляет собой законченное и самостоятельное исследование.

Актуальность диссертационной работы

Разработка энергосберегающих, экологически чистых, наукоемких технологий производства и обработки материалов является приоритетным направлением развития науки и техники. Такими технологиями являются методы обработки металлических материалов, основанные на ультразвуковом воздействии.

Известно, что в кристаллических материалах ультразвуковые волны вызывают генерацию и/или перераспределение дислокаций и вакансий, которые могут приводить как к упрочнению материалов, так и к разупрочнению. Поэтому, объемная ультразвуковая обработка (УЗО), основанная на возбуждении в материалах стоячих волн сжатия-растяжения, является одним из перспективных методов физического воздействия на материалы с целью получения в них необходимых свойств.

Другим активно изучаемым направлением применения ультразвука в обработке металлов и сплавов является ультразвуковая сварка (УЗС), которая широко используется во многих областях промышленности как метод получения твердофазных соединений между тонкими пластинами, лентами, фольгами, проволоками. Также показана перспективность использования УЗС для ремонта поврежденных деталей и производства объемных конструкций путем послойной ультразвуковой консолидации.

С физической точки зрения УЗО и УЗС объединяет то, что эти процессы являются различными проявлениями воздействия механических колебаний высокой частоты, отличающихся интенсивностями, покрывающими широкий интервал амплитуд деформации от 10^{-4} - 10^{-3} при УЗО до 10^{-2} - 10^{-1} при УЗС. Поэтому представляет интерес изучить влияние высокочастотных колебаний различной интенсивности на изменения структуры и свойств материалов для создания физических основ разработки технологий получения материалов с определенными свойствами.

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертационной работе

Все изложенные в диссертации результаты исследований получены либо соискателем лично, либо при его непосредственном участии. Личный вклад автора заключается в самостоятельном выполнении основной экспериментальной работы, обработке и анализе полученных результатов, а также в непосредственном участии автора в постановке цели и задач исследований, обсуждении результатов и подготовке публикаций. Выбор подходов к постановке и проведению экспериментов по УЗО, УЗС и обсуждение результатов выполнялись под научным руководством д.ф.-м.н. Назарова А.А. К.т.н. Мурзинова М.А. осуществляла научное консультирование при выполнении исследований и анализе структурных изменений в сплавах титана. Компьютерное моделирование проводилось под

руководством д.ф.-м.н. Назарова А.А. и к.ф.-м.н. Мурзаева Р.Т. при непосредственном участии соискателя. В работе также использованы результаты спектроскопии времени жизни позитронов, полученные сотрудниками Карлова университета (Прага) Янечком М., Страски Й., Барта К. и Чизеком Я. (M. Janeček, J. Stráský, K. Bartha, J. Čížek), а также результаты испытаний на срез сварных соединений, полученных точечной контактной сваркой, предоставленные к.т.н. Шагиевым М.Р.

Достоверность результатов экспериментальных исследований обусловлена использованием современных независимых и взаимодополняющих методов структурного анализа (просвечивающей и растровой электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа, аннигиляции позитронов), стандартизованными методами определения механических свойств, сравнением полученных данных с литературными. Достоверность результатов численных исследований обеспечена применением известных и апробированных методик (методов молекулярной динамики) и их физической непротиворечивостью.

Научная новизна результатов:

1 Методом аннигиляции позитронов установлено, что ультразвуковая обработка с амплитудой напряжений 100 МПа приводит к трехкратному увеличению концентрации вакансионных кластеров и двукратному увеличению плотности дислокаций в прутках сплава ВТ5, подвергнутых равноканальному угловому прессованию. Обнаруженные изменения в тонкой структуре сплава способствуют формированию новых рекристаллизованных зерен во время выдержки при 600°C.

2 Установлено, что ультразвуковая обработка с амплитудами напряжений до 100 МПа не приводит к заметному изменению прочностных свойств титановых сплавов при комнатной температуре, но обеспечивает, как показано для сплава ВТ6, повышение удлинения и скоростной чувствительности напряжения течения в ходе деформации с низкими скоростями при 600°C. Это связано с влиянием ультразвуковой обработки на структурные изменения в легированной α -фазе титана, описанные в предыдущем пункте.

3 Методом молекулярной динамики показано, что снижение дальнедействующих полей напряжений за счет генерации решеточных дислокаций неравновесными границами зерен в титане происходит при амплитуде осциллирующих деформаций, примерно в шесть раз превышающей критическую амплитуду деформаций в никеле.

4 Установлено, что формирование качественного твердофазного соединения листов титана в процессе ультразвуковой сварки сопровождается структурно-фазовыми перестройками, включающими полиморфное $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \alpha$ превращение в результате существенного повышения температуры за счет интенсивного трения и знакопеременной деформации с последующим охлаждением.

Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая значимость исследований состоит в получении новых научных результатов о влиянии ультразвука на структуру и свойства деформированных сплавов титана, а также закономерностях эволюции микроструктуры в процессе формирования соединений листов титана с помощью ультразвуковой сварки. Полученные в работе результаты могут быть использованы для дальнейшего развития фундаментальных знаний о взаимодействии кристаллических материалов с высокочастотными колебаниями, а также для разработки новых методов обработки металлов и сплавов.

Важное практическое значение имеют два факта, установленные при выполнении исследований: 1) показано, что ультразвуковая обработка прессованных заготовок сплава ВТ6 повышает показатели сверхпластичности материала при 600°C, что может быть использовано в технологических процессах, основанных на эффекте сверхпластичности; 2) апробированы режимы ультразвуковой сварки, обеспечивающие получение твердофазных соединений листов титана толщиной 0,5 мм, прочность которых сопоставима с прочностью соединений, полученных точечной контактной сваркой.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

Основное содержание диссертационной работы отражено в 11 публикациях 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.

Научная специальность, которой соответствует диссертация

Диссертация «Влияние ультразвуковой обработки и сварки на структуру и механические свойства титана» по своим целям, задачам, содержанию, методам исследования и научной новизне соответствует пп. 1 «Теоретическое и экспериментальное изучение физической природы и свойств неорганических и органических соединений как в кристаллическом (моно- и поликристаллы), так и в аморфном состоянии, в том числе композитов и гетероструктур, в зависимости от их химического, изотопного состава, температуры и давления» и 4. Теоретическое и экспериментальное исследование воздействия различных видов излучений, высокотемпературной плазмы на природу изменений физических свойств конденсированных веществ паспорта специальности 1.3.8. – физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа соответствует квалификационным требованиям, установленным п. II Положения о присуждении ученых степеней от 24 сентября 2013 года.

Диссертация «Влияние ультразвуковой обработки и сварки на структуру и механические свойства титана» Мухаметгалиной Айгуль Ахтамовны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. - физика конденсированного состояния.

Заключение принято на заседании Ученого совета ИПСМ РАН.

Присутствовало на заседании 13 членов Ученого совета из 18 списочного состава. Результаты голосования: «за» -12, «против» - 0, «воздержались» - 1, протокол № 11-23 от 05.07.2023 г.

Ученый секретарь ИПСМ РАН

к.т.н.



Сафаров Ильфат Миндигалеевич