

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Мухаметгалиной Айгуль Ахтамовны

«Влияние ультразвуковой обработки и сварки на структуру и механические свойства титана» по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Диссертационная работа Мухаметгалиной Айгуль Ахтамовны посвящена выявлению закономерностей влияния высокочастотных колебаний различной интенсивности на изменения структуры и механические свойства деформированных титановых сплавов при ультразвуковой обработке и сварке.

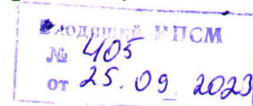
Магнитострикционный эффект, заключающийся в преобразование энергии магнитного поля в механические колебания ультразвуковой (УЗ) частоты, широко применяется для поверхностного упрочнения металлов и сплавов, формирования неразъемных соединений, управления процессами кристаллизации и т.п. В частности, упрочнение металлов достигается путем деформирования их поверхности твердым индентором, колеблющимся с УЗ частотой, которое позволяет в широких пределах изменять дислокационную структуру материала, измельчать зерна и субзерна до размеров нано- и субмикронного диапазона, формировать сжимающие напряжения в поверхностном слое материала и т.д. В свою очередь, УЗ сварка происходит под действием трения, вызванного микроскопическим возвратно-поступательным перемещением трущихся поверхностей, которое также сопровождается пластической деформацией их поверхностных слоев в области трибосопряжения, а также интенсивной взаимной диффузией. Очевидно, что как степень поверхностного упрочнения, так и механическая прочность сварных соединений определяется исходным структурным состоянием материала, наличием вторых фаз, интенсивностью развития фазовых превращений, индуцированных деформацией, и т.п. Всё это обусловило актуальность диссертационной работы А.А. Мухаметгалиной, в которой исследованы закономерности УЗ обработки и УЗ сварки чистого титана, α - и $(\alpha+\beta)$ -титановых сплавов, подвергнутых предварительной интенсивной пластической деформации.

Диссертация А.А. Мухаметгалиной состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы из 205 наименований.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, показаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе приведен аналитический обзор литературных источников, посвященных влиянию УЗ обработки и УЗ сварки на дефектную структуру и свойства отожженных и деформированных кристаллических материалов с крупнозернистой и ультрамелкозернистой структурой. Проанализированы микроструктура и механические свойства металлов, полученных различными методами интенсивной пластической деформации.

Во второй главе подробно описаны материалы исследования, методы и режимы УЗ обработки и УЗ сварки. Изложены методы структурной аттестации исследованных материалов, измерения их механических характеристик, а также



компьютерного моделирования процессов знакопеременного нагружения поликристалла титана с неравновесными границами зерен.

В третьей главе представлены результаты исследования влияния УЗ обработки на микроструктуру и прочностные свойства титана и его сплавов, подвергнутых предварительной интенсивной пластической деформации. Рассмотрено влияние УЗ обработки на микроструктуру и механические свойства технического титана ВТ1-0, подвергнутого кручению под высоким давлением, а также титановых сплавов ВТ5 и ВТ6, подвергнутых равноканальному угловому прессованию.

Четвертая глава посвящена молекулярно-динамическому моделированию воздействия осциллирующих напряжений на неравновесные границы зерен на примере бикристаллов титана. Представлено описание метода формирования неравновесной структуры границ зерен, продемонстрирован эффект эмиссии решеточных дислокаций границами зерен на характер напряженно-деформированного состояния в поликристалле.

Пятая глава посвящена исследованию эволюции микроструктуры технически чистого титана ВТ1-0 в процессе УЗ сварки. Представлены результаты измерения температуры внутри сварного соединения, а также продемонстрировано влияние усилия сжатия и времени сварки на качество соединений.

В заключении диссертационной работы сформулированы основные результаты и выводы, полученные в ходе проведения исследований.

В диссертационной работе получен целый ряд новых научных результатов, среди которых можно выделить следующие:

1. УЗ обработка с амплитудой напряжений 100 МПа приводит к трехкратному увеличению концентрации вакансионных кластеров и двукратному увеличению плотности дислокаций в прутках титанового сплава ВТ5, подвергнутых предварительному равноканальному угловому прессованию.
2. УЗ обработка с амплитудами напряжений до 100 МПа не приводит к заметному изменению прочностных свойств титановых сплавов ВТ1-0, ВТ5 и ВТ6 при комнатной температуре, но обеспечивает повышение удлинения и скоростной чувствительности напряжения течения сплава ВТ6 в процессе его деформации с низкими скоростями при 600°C.
3. Под действием высокочастотных напряжений растяжения-сжатия границы зерен в деформированном титане, содержащие дисклинации, могут генерировать решеточные дислокации, что приводит к снижению дальнедействующих полей напряжений. Снижение дальнедействующих полей напряжений в титане происходит при амплитуде осциллирующих деформаций, примерно в шесть раз превышающей критическую амплитуду деформаций в никеле.
4. УЗ сварка с усилиями сжатия 5-7 кН и длительностью 2-3 секунды позволяет получить твердофазные соединения листов технически чистого титана толщиной 0,5 мм. Увеличение усилия сжатия до 6 кН и времени сварки до 3 секунд приводит к увеличению линейной плотности соединения, увеличению усилий разрушения сварной точки до величин, сравнимых с усилиями разрушения соединений, полученных контактной точечной сваркой.

Практическая значимость диссертации состоит в обосновании применения УЗ обработки для увеличения показателей сверхпластичности прессованных заготовок

сплава ВТ6 при температуре 600 °С, что может быть успешно использовано в технологических процессах, основанных на эффекте сверхпластичности. Кроме того, предложены и научно обоснованы режимы УЗ сварки, обеспечивающие получение твердофазных соединений листов титана толщиной 0,5 мм, прочность которых сопоставима с прочностью соединений, полученных точечной контактной сваркой.

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 УЗ сварки.

Достоверность основных результатов диссертационной работы обусловлена использованием современных независимых и взаимодополняющих методов структурного анализа (просвечивающей и растровой электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа, аннигиляции позитронов), апробированными (гостированными) методами определения механических свойств. Достоверность результатов численных исследований обеспечена применением известных и апробированных методик, согласием результатов расчетов с экспериментальными результатами и данными, имеющимися в литературе.

Основные результаты проведенного исследования отражены 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 квартала Q1.

Результаты научной работы А.А. Мухаметгалиной широко представлены на международных и всероссийских научных конференциях.

Все основные результаты и выводы диссертационной работы отражены в автореферате диссертации.

По работе А.А. Мухаметгалиной можно сделать следующие замечания:

1. Не проанализировано изменение объемной доли остаточной β фазы в титановом сплаве ВТ6 в процессе равноканального углового прессования и последующей УЗ обработки.
2. Не ясно, с чем связано двукратное снижение времени жизни свободных позитронов τ_1 (не захваченных дефектами) при УЗ обработке титанового сплава ВТ6?
3. Методом МД моделирования показано, что эмиссия дислокаций с границ зерен в процессе циклического нагружения приводит к релаксации неравновесных границ зерен и снижению дальнедействующих полей внутренних напряжений. Считаю, что для более корректного описания эволюции неравновесных границ зерен целесообразно рассматривать не только эмиссию дислокаций, но и их дальнейшее взаимодействие с существующими границами зерен, а также со вновь образованными вакансионными кластерами.
4. В работе указано о «чрезвычайно высокой концентрации вакансий, генерируемых в процессе УЗ сварки, ... которые могут привести к снижению температуры фазового перехода». Необходимо пояснить, насколько может изменяться концентрация вакансий в процессе сварки, и к какому снижению температуры это может привести?

Сделанные замечания, однако, нисколько не снижают общего высокого уровня диссертационной работы А.А. Мухаметгалиной. Работа аккуратно оформлена и практически не содержит орфографических ошибок и опечаток. Следует также отметить, что текст диссертации достаточно полно проиллюстрирован рисунками и графиками.

В целом следует отметить, что диссертация представляет собой законченное научное исследование, выполненное на высоком уровне. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения уверенно обоснованы.

Считаю, что диссертационная работа «Влияние ультразвуковой обработки и сварки на структуру и механические свойства титана» соответствует критериям, установленным в пп. 9-14 Положения о присуждении учёных степеней (Постановление Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842), а ее автор, Мухаметгалина Айгуль Ахтамовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент:

Заведующий лабораторией Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, профессор, доктор физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

15.09.2023

Панин Алексей Викторович

Подпись А. В. Панина
Ученый секретарь ИФПМСО



Н. Ю. Матолыгина

Наименование организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук.

Почтовый адрес: 634055, г. Томск, просп. Академический, 2/4

Телефон: (3822) 49-18-81

Официальный адрес эл. почты: root@ispms.tomsk.ru

Официальный сайт: http://www.ispms.ru