

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Амирова Алихана Ильнуровича

«Особенности изнашивания рабочего инструмента из никелевых жаропрочных сплавов при сварке трением с перемешиванием титановых сплавов» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Стремление к снижению экономических затрат диктует постоянное ужесточение требований, предъявляемых к космическим аппаратам. Одним из основных требований является срок активного существования на орбите. Получение надежных и долговечных сварных соединений титановых сплавов способно повысить срок службы авиалайнеров, спутников и прочих изделий из данных сплавов, которые активно используются в авиакосмической промышленности. Сварка трением с перемешиванием позволяет получать соединения с прочностью, превышающую прочность основного металла. Несмотря на то, что данный вид сварки уже активно используется для алюминиевых и магниевых сплавов, при получении титановых сплавов методом сварки трением с перемешиванием существует ряд проблем, наибольшая из которых это высокий износ инструмента. Повышение ресурса работы сварочного инструмента для получения неразъёмных соединений титановых сплавов методом сварки трением с перемешиванием является актуальной задачей на сегодняшний день.

Повысить ресурс работы сварочного инструмента для получения неразъёмных соединений титановых сплавов методом сварки трением с перемешиванием представляется возможным с помощью использования жаропрочных сплавов на основе никеля. Разработке данных инструментов, а также подбору оптимальных режимов при их использовании посвящена диссертационная работа А.И. Амирова, что определяет **актуальность** выбранной темы, которая не вызывает сомнений.

Научная новизна исследования.

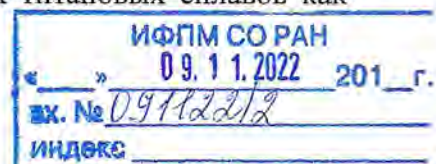
Из полученных **новых результатов** наиболее интересными представляются следующие:

1) Новые данные о структурно-фазовых изменениях и механизмах износа инструмента из жаропрочного никелевого сплава при сварке трением с перемешиванием титановых сплавов.

2) Установлены закономерности формирования структуры неразъёмных соединений титановых сплавов и разнородных материалов при интенсивном термомеханическом воздействии в процессе сварки трением с перемешиванием.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации А.И. Амирова, подтверждаются применением апробированных экспериментальных методик и современного сертифицированного оборудования, лицензионного программного обеспечения. Выносимые на защиту научные положения, выводы и заключения являются обоснованными и достоверными и не противоречат современным положениям материаловедения.

Значимость для науки и производства (практики) полученных автором диссертации результатов заключается в том, что на основе эксперимента установлены закономерности формирования и эволюции структуры новых долговечных инструментов из жаропрочных сплавов на основе никеля для сварки трением с перемешиванием титановых сплавов. Разработан способ жидкостного охлаждения сварочного инструмента в процессе сварки трением с перемешиванием титановых сплавов, что позволяет увеличить его долговечность при высоких термомеханических нагрузках. Установленные в работе режимы сварки трением с перемешиванием для таких титановых сплавов как



BT1-0, OT4-1, BT6, а также режимы сварки трением с перемешиванием для разнородных соединений алюминиевых и титановых сплавов могут быть полезны в разработке конструкций используемых в авиационной, космической, транспортной, судостроительной химической отраслях и медицине.

Большой объём экспериментальных данных, а также использование различных методов, взаимодополняющих друг друга, обеспечивают **надёжность и достоверность** полученных результатов, представленных в диссертации.

Полученные результаты, показанные в диссертационной работе А.И. Амирова, хорошо согласуются с литературными данными и имеют **теоретическую значимость** для выявления закономерностей изнашивания инструментов, изготовленных из жаропрочных сплавов на основе никеля при сварке и обработке трением с перемешиванием титановых сплавов в защитной атмосфере аргона. А также влияние износа инструмента сварки трением с перемешиванием титановых сплавов на прочностные характеристики соединения.

Оценка структуры и содержания: диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 158 страницах машинописного текста и содержит 96 рисунков, 29 таблиц, 175 наименований литературы и 2 приложения.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, показана степень ее разработанности, сформулированы цели и задачи исследования. Так же отражены научная новизна, теоретическая значимость, практическая значимость, степень достоверности, апробация работы и ее связь с научными темами. Сформулированы положения, выносимые на защиту и личный вклад автора.

В первой главе диссертационной работы приведён анализ научной литературы. Здесь рассматриваются не только титановые сплавы и интерметаллиды титана и алюминия, получаемые при разнородной сварке данных металлов, но и приведен подобный обзор жаропрочных сплавов на основе никеля. Кроме того, чётко расписан обзор на сварку трением с перемешиванием и показанные основные проблемы сварки трением с перемешиванием титановых сплавов.

Во второй главе описаны материалы исследования, условия проведения процесса сварки трением с перемешиванием, методы исследования структуры получаемых сварных соединений и их фазового состава, а также способы определения механических характеристик сваренных соединений. Кроме того, представлены марочные составы свариваемых материалов и материалов исследуемых сварочных инструментов, а так же параметры режимов сварки трением с перемешиванием, которые были использованы для исследований неразъёмных соединений титановых сплавов и разнородных соединений алюминиевых и титановых сплавов.

Третья глава посвящена подбору материала инструмента сварки трением с перемешиванием титановых сплавов и изучению характера износа инструмента при использовании защитной атмосферы аргона. Были рассмотрены такие материалы как карбид вольфрама, диборид циркония с добавками карбида кремния, жаропрочные сплавы на основе никеля. Показаны особенности взаимодействия таких сварочных инструментов с титановыми сплавами при высоких термомеханических нагрузках. Так, например, были выявлены остатки инструмента из диборида циркония с добавками карбида кремния в титановом соединении сплава BT1-0 в виде мелких частиц деборида циркония и карбида кремния, диффундировавших в шов, которые его охрупчивали. Было показано диффузионно-адгезионное взаимодействие между свариваемыми титановыми листами и инструментами изготовленных из сплавов жаропрочных ЖС6У и ЖС32 на основе никеля. Доказано, что данное взаимодействие и есть причина износа инструментов сварки трением с перемешиванием. Кроме того, исследование проведённое соискателем показывают, что между жаропрочными сплавами первого поколения и жаропрочными сплавами второго поколения на основе никеля нет значительной разницы при износе

сварочного инструмента. При этом жаропрочные сплавы второго поколения имеют более сложный химический состав и значительно дороже жаропрочных сплавов первого поколения из-за наличия в своём составе редкоземельного металла – рения. Также автор представляет способ жидкостного охлаждения сварочного инструмента, который позволяет уменьшить износ инструмента в процессе сварки трением с перемешиванием титановых сплавов, что повышает его долговечность, благодаря чему появляется возможность получать титановые соединения, стабильные по прочности при большей длине сварки.

В четвёртой главе представлены данные о подборе параметров сварки трением с перемешиванием, позволяющие получать наиболее прочные соединения для таких титановых сплавов как ВТ1-0, ОТ4-1, ВТ6, а также разнородных соединений титанового сплава ОТ4-1 и алюминиевого сплава АМг5. Кроме того был проведен подбор параметров сварки сплава ОТ4-1 для листового проката различных толщин, так как именно для этого был промышленный запрос получения неразъёмных соединений. Изучены механические и структурные характеристики полученных соединений. Представлены результаты прочностных испытаний полученных соединений, согласно которым их прочность превышала прочность основного металла. Приведены металлографические исследования, которые показывают, что такая прочность сварных соединений достигается благодаря эффекту Холла-Петча.

В заключении приведены основные выводы по результатам, полученным при выполнении диссертационной работы.

Оценивая диссертационную работу А.И. Амирова в целом, можно отметить, что она представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную в рамках актуального научного направления, содержащую новые научные результаты и имеющую практическое значение. Кроме того, сварочный инструмент, полученный в рамках работы над диссертацией, позволит приблизить внедрение в производство сварки трением с перемешиванием титановых сплавов, что увеличит прочностные характеристики конструкций.

Соответствие работы основным положениям диссертации.

По теме диссертационной работы опубликовано 10 работ, из них 2 статьи в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных журналов и изданий из списка ВАК, 8 статей в журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus. Кроме того, в рамках диссертационной работы получен 1 патент Российской Федерации. Результаты диссертационной работы прошли апробацию на российских и международных конференциях. Автореферат полностью отражает содержание, основные идеи и выводы диссертационной работы. Работа выполнена автором на высоком научном и методическом уровне. Полученные автором работы результаты надежно обоснованы. Результаты работы наряду с очевидной научной новизной имеют практическую направленность.

В качестве **вопросов и замечаний** к работе можно отметить следующее:

1) В главе 2 диссертационной работы не обсуждается воспроизводимость результатов по получению неразъёмных соединений из разнородных материалов в виде титановых и алюминиевых сплавов методом сварки трением с перемешиванием.

2) В главе 3 на рисунке 3.17 показано, что в сварное соединение замешались частицы инструмента. Влияют ли остатки инструмента в соединении на механические характеристики шва?

3) В главе 4 показано, что наиболее прочное неразъёмное соединение сплава ВТ1-0 листового проката толщиной 2,5 мм получалось при достижении осевой нагрузки равной 850 кг, однако не представлены характеристики соединения, которые были получены при более высоких осевых нагрузках на инструмент в процессе сварки трением с перемешиванием.

4) Некорректная формулировка пункта 2 научной новизны (страница 6 диссертационной работы). Применение жидкостного охлаждения инструмента не является научной новизной.

Указанные замечания не снижают общую положительную оценку основных результатов работы.

Диссертационная работа Амирова Алихана Ильнуровича «Особенности изнашивания рабочего инструмента из никелевых жаропрочных сплавов при сварке трением с перемешиванием титановых сплавов» соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям п. 9 действующего Положения о присуждении ученых степеней, и является завершенной научно-квалификационной работой. Автор диссертации Амиров Алихан Ильнурович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Официальный оппонент, заведующий лабораторией нанотехнологий металлургии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», доктор технических наук (специальность 05.16.09 – Материаловедение (химическая технология)); 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36; (3822) 52-98-52; rector@tsu.ru; <http://www.tsu.ru>



Жуков Илья Александрович

05.11.2022



ПОДПИСЬ УДОСТОВЕРЯЮ
ВЕДУЩИЙ ДОКУМЕНТОВЕД
УПРАВЛЕНИЕ ФАМИ



И. В. АНДРИЕНКО