



УТВЕРЖДАЮ

Директор ИПСМ РАН

Р.Р. Мулюков

« 01 » марта 2021 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Диссертация «Твердофазное соединение интерметаллидного сплава на основе Ni_3Al и жаропрочного никелевого сплава с использованием сверхпластической деформации» выполнена в лаборатории 10 «Сверхпластическая обработка перспективных материалов» ИПСМ РАН.

В период учебы в аспирантуре и подготовки диссертации соискатель Галиева Эльвина Венеровна работала в лаборатории 10 «Сверхпластическая обработка перспективных материалов» ИПСМ РАН в должности стажера-исследователя, младшего научного сотрудника.

В 2013 году окончила Уфимский государственный авиационный технический университет по специальности «Физика металлов».

В 2017 год окончила очную аспирантуру Института проблем сверхпластичности металлов РАН по специальности «Материаловедение».

Научный руководитель – доктор технических наук, старший научный сотрудник Лутфуллин Рамиль Яватович, главный научный сотрудник лаборатории 10 «Сверхпластическая обработка перспективных материалов» ИПСМ РАН.

По результатам рассмотрения диссертации «Твердофазное соединение интерметаллидного сплава на основе Ni_3Al и жаропрочного никелевого сплава с использованием сверхпластической деформации» принято следующее заключение:

Диссертация Галиевой Э.В. представляет собой законченное и самостоятельное исследование.

Актуальность диссертационной работы

В авиационных газотурбинных двигателях (ГТД) широкое применение получили жаропрочные никелевые сплавы (ЖНС), весовая доля которых достигает ~50%. Из никелевых сплавов изготавливают детали камеры сгорания, рабочие и сопловые лопатки, диски турбины и другие важные узлы. ЖНС являются труднодеформируемыми и имеют низкую технологичную пластичность. Поэтому для изготовления деталей, например,

дисков ГТД, из таких сплавов целесообразно применение перспективной технологии на основе сверхпластической деформации. В настоящее время актуальными являются исследования, направленные на разработку инновационных технологий получения неразъемных соединений при изготовлении биметаллических деталей типа «БЛИСК», представляющих собой цельный диск с лопатками из жаропрочных сплавов на основе никеля с целью повышения надежности и снижения массы роторных конструкций. В связи с вышеизложенным актуальной материаловедческой задачей является разработка оптимальных условий СД в режиме сверхпластичности для получения качественных ТФС из разноименных жаропрочных сплавов на основе никеля, перспективных для изготовления детали типа «БЛИСК».

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. Диссертант принимала непосредственное участие в обсуждении и постановке цели и задач работы, анализе, обработке и интерпретации полученных данных, в подготовке публикаций и представлении наиболее значимых результатов на российских и международных конференциях, а также лично участвовала в патентовании метода СД в условиях СП разноименных никелевых сплавов (патент РФ №2608118).

Достоверность результатов диссертации основана на использовании ряда независимых современных методов исследования микроструктуры и свойств сплавов. Экспериментальная работа выполнена на научно-исследовательском оборудовании Центра коллективного пользования ИПСМ РАН «Структурные и физико-механические исследования материалов». Оценка параметров микроструктуры и результатов механических испытаний проводилась с использованием методов статистической оценки погрешности измерений, а также соответствием полученных экспериментальных результатов данным российских и зарубежных специалистов.

Диссертационная работа выполнялась в рамках Госзадания ИПСМ РАН № АААА-А17-117041310221-5 «Разработка научных основ перспективных технологий изготовления полых и жестких металлических конструкций с использованием СД и сверхпластического формообразования и их диагностики», а также в рамках выполнения грантов: 1) РФФИ № 13-08-12200 офи_м «Исследование природы формирования твердофазного соединения интерметаллидного сплава на основе Ni_3Al с жаропрочным сплавом ЭП975 при термомеханическом воздействии и его влияние на физико-механические и эксплуатационные характеристики» (2013–2015 гг.); 2) РФФИ

(региональный _поволжье) №14–08–97061 «Физическое и экспериментальное моделирование влияния профиля поверхности на качество твердофазного соединения жаропрочных сплавов на основе никеля и титана с монокристалльным сплавом на основе интерметаллида Ni_3Al » р_поволжье_a (2014–2016 гг.), 3) РФФИ № 17–38–50060 мол_нр «Установление закономерностей формирования твердофазного соединения монокристаллического интерметаллидного сплава ВКНА–25 на основе Ni_3Al с деформируемым никелевым сплавом ЭП975 в зависимости от условий сварки давлением» и 4) РНФ № 18–19–00685 (2018–2020 гг.) «Сверхпластичность гетерофазных никелевых сплавов с ультрамелкозернистой и нанокристаллической структурой и ее использование в технологических процессах изготовления биметаллических деталей ГТД» – основной исполнитель.

Научная новизна результатов

1. На примере деформируемых никелевых сплавов ЭК61 и ЭП975 с различным типом упрочняющей фазы γ'' - Ni_3Nb и γ' - $\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$, соответственно, показано, что низкотемпературной деформационно-термической обработкой (ДТО) возможно формирование УМЗ структуры смешанного типа, которая включает УМЗ составляющую с размером зерен матрицы (γ -фазы) и второй фазы менее 1 мкм, а также крупные некогерентные частицы второй фазы размером до $2\pm 0,5$ мкм в сплаве ЭК61 и $4,5\pm 1,2$ мкм в сплаве ЭП975, унаследованные от МЗ структуры дуплексного типа. Показано, что сплавы со смешанной УМЗ структурой проявляют эффект низкотемпературной СП. Максимальные характеристики СП ($m\geq 0,4$, $\delta>1000\%$) выявлены в сплаве ЭК61 при $T=800\ldots 850$ °С, а в сплаве ЭП975 при $T=950$ °С.
2. Впервые проведены системные исследования влияния сверхпластической деформации на твердофазную свариваемость одноименных и разноименных сплавов на основе никеля. Получены качественные ТФС литых интерметаллидных сплавов типа ВКНА на основе Ni_3Al с деформируемыми никелевыми сплавами ЭК61 и ЭП975 в условиях проявления в них высокотемпературной и низкотемпературной структурной СП.
3. Впервые изучено влияние исходной микроструктуры, температуры и степени деформации на формирование качественного ТФС при СД разноименных сплавов в сочетании ЭП975//ВКНА-25. Создание УМЗ структуры в сплаве ЭП975 позволяет снизить температуру СД до 950 °С. Показано, что в случае применения сплава ЭП975 с МЗ структурой повышение температуры СД с 1075 до 1175 °С приводит к формированию практически беспористого ТФС. Увеличение степени деформации от 24 до 40% приводит к формированию извилистой границы соединения в результате локализации деформации в зоне ТФС и повышению прочностных характеристик сварных соединений.

4. Установлены закономерности формирования градиентных структур в зоне ТФС разноименных жаропрочных сплавов на основе никеля при СД в условиях СП и последующей ТО. Термическая обработка приводит к расширению диффузионной зоны в 2...4 раза и повышению прочности ТФС разноименных сплавов ЭП975//ВКНА-25 на 6...30%.

Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая значимость заключается в том, что результаты проведенных в работе исследований расширяют представления о влиянии сверхпластической деформации при пониженных температурах на формирование соединений в твердом состоянии из жаропрочных сплавов на основе никеля. Полученные в работе экспериментальные данные доказывают эффективность метода сварки давлением с использованием сверхпластической деформации и последующей термической обработки для получения качественных сварных соединений между интерметаллидными монокристаллическими сплавами на основе Ni_3Al и жаропрочными никелевыми сплавами. Достигается уровень прочности сварных образцов не ниже $\sim 0,6...1 \sigma_{\text{в}}$ относительно прочности интерметаллидного сплава.

Практическая значимость и ценность работы заключается в том, что результаты проведенного в рамках диссертационной работы физического и компьютерного моделирования СД разноименных никелевых сплавов в условиях СП явились основой для разработки способа получения ТФС из литого монокристаллического интерметаллидного сплава на основе Ni_3Al и деформируемого дисперсионно-твердеющего жаропрочного никелевого сплава, на который выдан патент РФ №2608118 «Способ изготовления биметаллического изделия». Это изобретение может найти применение в авиадвигателестроении при изготовлении изделий, в которых предусмотрено использование неразъемных соединений из упомянутых материалов, в частности, при изготовлении деталей типа «БЛИСК» для авиационных и вертолетных ГТД нового поколения, а также наземных энергетических установок.

Усовершенствована методика СД, позволяющая уменьшить окисление соединяемых поверхностей и повысить вакуум до $P=5 \cdot 10^{-2}$ Па, что обеспечивает получение качественного ТФС из разноименных сплавов ЭП975//ВКНА-25.

Разработаны технологические рекомендации Инв. № ТР. 49 ИНЕБ-21 ИПСМ РАН по подготовке УМЗ структуры в сплавах ЭК61 и ЭП975.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

Все основные материалы диссертации в полной мере изложены в 27 печатных работах: 20 статей опубликовано в рецензируемых журналах, из них 14 статей, в журналах рекомендованных ВАК, 12 статей в журналах, индексируемых в международной базе данных Scopus, 8 статей в журналах, индексируемых в международной базе данных Web of Science, одна из которых опубликована в зарубежном научном журнале с квартилем Q1; 5 статей в сборниках материалов конференций, входящих в базы данных РИНЦ; технологические рекомендации Инв. № ТР. 49 ИНЕБ-21 ИПСМ РАН; патент РФ №2608118 на изобретение.

Научная специальность, которой соответствует диссертация:

Диссертация «Твердофазное соединение интерметаллидного сплава на основе Ni_3Al и жаропрочного никелевого сплава с использованием сверхпластической деформации» соответствует всем квалификационным требованиям пункта II положения о порядке присуждения ученых степеней от 24 сентября 2013 года и требованиям паспорта специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов, что подтверждается публикацией основных результатов в научных журналах, специализирующихся в данной области знания, апробацией работы на соответствующих научных конференциях, семинарах и конкурсах, использованными методами исследования, научной новизной и практической значимостью.

Диссертация Галиевой Эльвины Венеровны «Твердофазное соединение интерметаллидного сплава на основе Ni_3Al и жаропрочного никелевого сплава с использованием сверхпластической деформации» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Заключение принято на заседании Ученого Совета ИПСМ РАН.

Присутствовало на заседании 15 чел. Результаты голосования: «за» - 15 чел., «против» - 0 чел., «воздержались» - 0 чел., протокол № 06-21 от 25.02.2021 г.

Ученый секретарь ИПСМ РАН

к.т.н.




Сафаров Ильфат Миндигалеевич