



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИПСМ РАН

Р.Р. Мулюков
декабря 2019 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Диссертация «Влияние аустенитно-мар滕ситного превращения в слое TiNi на прочность диффузионного соединения титанового сплава и нержавеющей стали через прослойку никеля и сплава никель-хром» выполнена в лаборатории 10 «Сверхпластическая обработка перспективных материалов» ИПСМ РАН.

В период подготовки диссертации соискатель Хазгалиев Руслан Галиевич работал в лаборатории 10 «Сверхпластическая обработка перспективных материалов» ИПСМ РАН в должности стажера-исследователя, младшего научного сотрудника.

В 2009 году окончил Уфимский государственный авиационный технический университет по специальности «Материаловедение и технология новых материалов».

В 2012 году окончил очную аспирантуру Башкирского государственного университета по специальности «Физика конденсированного состояния».

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Мулюков Радик Рафикович, директор ИПСМ РАН.

Научный консультант – д.ф.-м.н., Имаев Марсель Фаниевич, в.н.с. ИПСМ РАН

По результатам рассмотрения диссертации «Влияние аустенитно-мар滕ситного превращения в слое TiNi на прочность диффузионного соединения титанового сплава и нержавеющей стали через прослойку никеля и сплава никель-хром» принято следующее заключение:

Диссертация Хазгалиева Р.Г. представляет собой законченное и самостоятельное исследование.

Актуальность диссертационной работы

В современных технических устройствах часто требуется прочное соединение деталей из разнородных материалов, которое трудно получить сваркой плавлением. К таким парам материалов относятся, в частности, соединения титановых сплавов с нержавеющими сталью. Титановые сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью, а нержавеющие стали - высокой износостойкостью и прочностью. Соединения этих

материалов будут сочетать прочность стали с химической стойкостью титанового сплава. Конструкционные соединения деталей из титанового сплава и нержавеющей стали требуются, например, в парогенераторах и теплообменниках ядерных энергетических установок, криогенных структурах (гелиевые трубопроводы ускорительной техники), химической промышленности. Такие соединения необходимы для защиты стальных конструкций от химического воздействия.

Перспективным методом соединения этих материалов представляется сварка давлением, при которой можно избежать неконтролируемого образования охрупчивающих фаз, возникающих при сварке плавлением. Однако прямое соединение титанового сплава и нержавеющей стали сваркой давлением не удается осуществить из-за образования хрупких интерметаллидных фаз системы Ti-Fe в зоне сварки. Избежать образования интерметаллидов можно используя прослойки между титановым сплавом и нержавеющей сталью, обеспечивающие соединение материалов и одновременно препятствующие образованию соединений системы Ti-Fe. Также на прочность соединения будет оказывать влияние напряжения в зоне сварки, возникающие при охлаждении изделий после сварки давлением.

Основными критериями выбора прослойки между титановым сплавом и нержавеющей сталью являются: обеспечение эффективного барьера диффузии титана и железа для исключения образования интерметаллидов системы Ti-Fe; промежуточное между титановым сплавом и нержавеющей сталью значение коэффициента термического расширения (КТР); достаточная пластичность для образования контакта свариваемых поверхностей. Прослойка должна соединяться сваркой давлением и с титановым сплавом, и с нержавеющей сталью. Известны способы соединения титанового сплава и нержавеющей стали с использованием различных прослоек. Однако не удается получить равнопрочное соединение, и разрушение происходит по одной из диффузионных зон. Причинами разрушения называют различие КТР соединяемых материалов и образующиеся хрупкие интерметаллидные фазы, не учитывая КТР фаз, образующихся в диффузионной зоне в процессе сварки давлением. Так, могут образовываться фазы, имеющие существенные изменения КТР в результате низко температурных аустенитно - мартенситных превращений (АМП), или инварные сплавы с минимальным КТР. Эффект изменения КТР при АМП существует в соединениях Cu — Al — Ni, Cu — Al, Ti — Ni, Ni — Al, Co — Ni, а инварный эффект характерен для соединений: Ti — Nb, Ni — Co — Fe, Fe — Ni и др.

Средний размер зерен прослойки также может влиять на качество сварного соединения. Интерес представляет соединение черезnanoструктурную прослойку.

Уменьшение размера зерна до наноструктурного приведет к существенному повышению диффузионной активности материала. Как следствие, это позволит снизить температуру сварки давлением и может привести к изменению процессов, происходящих при получении сварного соединения, в частности при образовании интерметаллидных слоев в диффузионной зоне.

Для разработки технологии получения качественного соединения материалов необходимо детальное рассмотрение механизмов разрушения. Различие КТР соединяемых материалов снижает используемая никелевая прослойка, КТР которой имеет промежуточное значение. В процессе сварки происходит образование хрупких интерметаллидных слоев Ti_2Ni и $TiNi_3$, однако в промежутке образуется довольно пластичная фаза $TiNi$. Указанные в литературе причины разрушения не достаточны для объяснения механизмов разрушения соединения титанового сплава и нержавеющей стали через никелевую прослойку. При анализе разрушения не учитывается влияние КТР интерметаллидных фаз, образующихся на границе соединения титанового сплава и никеля, которые будут оказывать существенное влияние на разрушение. Повышение прочности соединения при использовании прослойки из сплава на основе никеля и добавок необходимо анализировать с точки зрения изменения свойств, образующихся при сварке давлением интерметаллидов $TiNi$, Ti_2Ni и $TiNi_3$. Необходимо обратить внимание на изменение свойств инетрметаллида $TiNi$ при добавлении легирующих элементов в прослойку никеля.

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертационной работе

Все изложенные в диссертации результаты исследований получены либо соискателем лично, либо под его руководством и при его непосредственном участии. Диссидентом лично определены направления и задачи исследований, самостоятельно проведены эксперименты по сварке давлением материалов, основная часть исследований микроструктуры и механических свойств полученного соединения, осуществлен анализ полученных результатов. Подготовка основных публикаций по теме диссертации осуществлялась соискателем лично либо при его непосредственном участии.

Достоверность результатов диссертации обеспечена применением современных испытательных машин и регистрирующей аппаратуры при проведении экспериментальных исследований. Для выполнения работы применялись апробированные методы исследования, такие как растровая электронная микроскопия (ПЭМ и РЭМ), EBSD анализ (анализ картин микродифракции в обратно отраженных электронах), оптическая металлография (ОМ), рентгеноструктурный анализ (РСА), механические

испытания на растяжение, измерение микротвердости. Сварка давлением образцов осуществлялась на установке «АЛА-ТОО (тип ИМАШ 20-78)». Методологической основой исследований послужили научные труды отечественных и зарубежных научных школ в области металловедения, физики конденсированного состояния и физики прочности и пластичности. Основные результаты диссертации неоднократно обсуждались на российских и международных конференциях, были представлены на семинарах в коллективах, специализирующихся на данной тематике, и опубликованы в авторитетных научных изданиях.

Новизна результатов

1. Наноструктурирование никелевой прослойки позволяет снизить температуру сварки давлением титанового сплава ПТ-3В и нержавеющей стали 12Х18Н10Т.

2. Эффект значительного изменения КТР при аустенитно-мартенситном превращении слоя интерметаллидной фазы TiNi, образующейся при сварке давлением титанового сплава ПТ-3В и нержавеющей стали 12Х18Н10Т через никелевую прослойку, приводит к возникновению микротрещин в образующихся соседних слоях Ti₂Ni и TiNi₃ при охлаждении после сварки давлением и снижению прочности соединения.

3. Использование прослойки из хромсодержащего наноструктурного никелевого сплава Х2Н98 вместо никелевой прослойки приводит к уменьшению эффекта значительного изменения КТР при аустенитно-мартенситном превращении интерметаллида TiNi и к отсутствию микротрещин в слоях Ti₂Ni и TiNi₃. Хром из прослойки проникает в образующийся интерметаллид TiNi, что снижает температурный интервал АМП.

Теоретическая и практическая значимость. На прочность соединения титанового сплава и нержавеющей стали, полученного сваркой давлением через никелевую прослойку, оказывает влияние не только разница КТР соединяемых материалов, но и КТР образующихся при сварке интерметаллидных фаз системы Ti-Ni и эффект значительного изменения КТР при АМП интерметаллидного слоя TiNi.

Использование наноструктурных прослоек из никеля позволяет снизить температуру сварки давлением на 50 °С.

При использовании и хранении изделий с соединением титанового сплава и нержавеющей стали, полученного сваркой давлением через никелевую прослойку, следует контролировать температуру их хранения и эксплуатации. Снижение температуры хранения может приводить к снижению прочности соединения.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

Результаты диссертационного исследования опубликованы в 14 научных работах, из них 5 работ опубликованы в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК. Результаты диссертационной работы опубликованы в полной мере, а также представлены на российских и международных конференциях и семинарах.

Научная специальность, которой соответствует диссертация:

Диссертация «Влияние аустенитно-мартенситного превращения в слое TiNi на прочность диффузионного соединения титанового сплава и нержавеющей стали через прослойку никеля и сплава никель-хром» соответствует всем квалификационным требованиям пункта II положения о порядке присуждения ученых степеней от 24 сентября 2013 года и требованиям паспорта специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния, что подтверждается публикацией основных результатов в научных журналах, специализирующихся в данной области знания, аprobацией работы на соответствующих научных конференциях и семинарах, использованными методами исследования, научной новизной и практической значимостью.

Диссертация «Влияние аустенитно-мартенситного превращения в слое TiNi на прочность диффузионного соединения титанового сплава и нержавеющей стали через прослойку никеля и сплава никель-хром» Хазгалиева Руслана Галиевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Заключение принято на заседании Ученого совета ИПСМ РАН.

Присутствовало на заседании 16 членов Ученого совета из 18 списочного состава. Результаты голосования: «за» - 16, «против» - 0, «воздержалось» - 0, протокол № 11-19 от 11.07.2019 г.

Ученый секретарь ИПСМ РАН

к. т.н.

Сафаров Ильфат Миндигалеевич

Подпись Сафарова И.И. утверждена
Миндигалеев Ильфат Сафаров
23.12.2019

