

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной и инновационной
работе ФГБОУ ВО «Алтайский
государственный технический университет

к.х.н.

А.А. Беушев

2023 г.

ведущей организации на диссертационную работу
Эмурлаевой Юлии Юрьевны

«Структура и механические свойства интерметаллидных слоев, полученных при отжиге биметаллов Al - Me (Me = Ti, Zr, Nb, Ta)», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение

На отзыв представлены:

- диссертационная работа объемом 224 страницы, состоящая из введения, шести разделов, заключения, шести приложений, списка литературы, содержащего 309 источников;
- автореферат диссертации на 20 страницах, включая список из 11 основных публикаций по теме диссертационной работы, в том числе 4 – в изданиях, рекомендованных ВАК.

Актуальность диссертационной работы

Диссертационная работа Эмурлаевой Ю.Ю. посвящена решению актуальной проблемы современного материаловедения, связанной с разработкой технологии создания слоистых материалов, состоящих из твердых, но при этом хрупких интерметаллидов в сочетании со слоями чистых металлов или сплавов, обладающих высокой пластичностью.

В представленной диссертационной работе разработаны материалы, содержащие слои алюминидов различных металлов. В качестве метода получения заготовок использовалась сварка взрывом в сочетании с последующей термической обработкой. Данный подход на сегодняшний день уже нашел свое применение и используется при производстве слоистых композитов благодаря ряду преимуществ. Научный интерес представляет изучение последовательности фазовых превращений и структурных преобразований на стадии отжига сваренных взрывом биметаллических заготовок. В диссертационной работе с использованием взаимодополняющих методов исследования были определены фазовый состав, структурные особенности образующихся фаз, формирование текстуры и особенности морфологии интерметаллидных слоев, а также изучено их влияние на свойства интерметаллидов. Практический интерес представляют данные об анизотропии свойств, присущей интерметаллидным слоям, сформированным в процессе твердофазной диффузии.

В связи с вышеизложенным тема диссертационной работы Эмурлаевой Ю. Ю. является актуальной, а отраженные в ней результаты имеют важное научное и практическое значение.

Содержание шести разделов диссертации, введения, заключения, списка литературных источников в полной мере отражают логику, методологию, результаты и выводы проведенного исследования. Содержание автореферата полностью отражает основные положения и результаты диссертации.

Во введении обоснована актуальность работы, охарактеризованы исследуемые материалы и их особенности, сформулированы цель, задачи, научная новизна исследования, представлены теоретическая и практическая значимость работы, методология исследования, защищаемые положения, степень достоверности, приведен перечень проектов, в рамках которых выполнены исследования, и апробация результатов работы.

В первом разделе проведен аналитический обзор литературы и научных трудов специалистов, занимающихся исследованиями в областях, соответствующих теме диссертации. Описаны различные методы получения слоистых металл-интерметаллидных композитов, перечислены достоинства и недостатки каждого метода. Приведены данные о развитии представлений о механизмах диффузии и кинетике роста интерметаллидов на границе разнородных металлов. Подробно описаны модели и общепринятые подходы к исследованию сложных процессов, протекающих во время диффузии в твердом состоянии, в том числе методы, основанные на математическом моделировании.

Во втором разделе перечислены и описаны методы исследования структуры, фазового состава и свойств как сварных соединений до термической обработки, так и интерметаллидных прослоек, сформированных во время отжига.

Третий раздел работы посвящен исследованию структуры и свойств сваренных взрывом заготовок до и после термической обработки. С использованием методов растровой и просвечивающей электронной микроскопии, дифракции обратно рассеянных электронов, а также микрорентгеноспектрального анализа изучено структурно-фазовое состояние сварных соединений, элементный состав и морфология зон перемешивания, а также дислокационная структура околошовной зоны.

Установлено, что на границе алюминия и титана образуются две модификации $TiAl_3$. После отжига в течение 100 часов при температуре $630\text{ }^\circ\text{C}$ в слое $TiAl_3$ было обнаружено две текстурных компоненты, а именно: $\langle 100 \rangle$ около границы с алюминием и $[001]$ в остальном объеме интерметаллидной прослойки. Во время продолжительного отжига заготовки Al-Zr было обнаружено формирование только одной модификации триалюминида циркония, текстура которой была исследована автором с использованием метода дифракции обратно-рассеянных электронов. В образцах Al-Nb и Al-Ta после продолжительного отжига образовались только $NbAl_3$ и $TaAl_3$ соответственно, сформированные интерметаллидные слои текстурой не обладали.

Отжиг образцов Al-Ti и Al-Zr при различных температурах выдержки (570, 590, 610 и $630\text{ }^\circ\text{C}$) позволил определить энергию активации роста диффузионных слоев. Анализ кинетики роста слоев $TiAl_3$ и $ZrAl_3$ показал, что толщина интерметаллидных прослоек имеет параболическую зависимость от времени отжига.

В четвертом разделе описываются свойства (твердость, модуль упругости) алюминидов, образующихся при отжиге сваренных взрывом заготовок Al-Ti, Al-Zr, Al-Nb, Al-Ta, а также трещиностойкость и износостойкость для образцов Al-Ti и Al-Zr после отжига. Методом инструментального индентирования установлено, что твердость интерметаллидов на границах $TiAl_3$ - Ti и $ZrAl_3$ - Zr возрастает, что связано с существенным измельчением зерен в данных областях. Также были определены модули упругости для соединений $TiAl_3$, $ZrAl_3$, $NbAl_3$, $TaAl_3$ образованных в процессе продолжительного отжига. Трещиностойкость по Палмквисту находится на уровне $1,83$ и $1,46\text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ для $TiAl_3$, $ZrAl_3$, соответственно.

Анизотропия свойств интерметаллидных слоёв была зафиксирована соискателем в ходе выполнения триботехнических испытаний для отоженных образцов Al-Ti и Al-Zr. Указанный эффект связан с градиентным строением интерметаллидных слоев,

обусловленным различием размеров зерен, текстурой различного типа и ее интенсивностью, химической неоднородностью.

В пятом разделе при помощи анализа геометрических особенностей кристаллографических решеток, а также численного моделирования при помощи метода молекулярной динамики, автором диссертационной работы предложен механизм миграции атомов алюминия в растущем интерметаллидном слое, который объясняет диффузию атомов алюминия в $TiAl_3$ вдоль направления $[001]$.

Используя моделирование диффузионных процессов методом ТФП, определены значения энергии формирования точечных дефектов в триалюминиды титана, ниобия и циркония. Показано, что перескок алюминия «на место ближайшего соседа» является одним из наиболее предпочтительных механизмов диффузии. С использованием метода упругой ленты рассчитаны значения энергии потенциальных барьеров для различных типов скачков атомов в триалюминиды $TiAl_3$, $NbAl_3$ и $ZrAl_3$. Сопоставление результатов моделирования диффузионных процессов кинетическим методом Монте-Карло с данными экспериментальных исследований свидетельствует о проявлении в триалюминиде титана наряду с механизмом скачка на вакантное место ближайшего соседа, иных вариантов диффузии атомов алюминия.

В шестом разделе и в Приложениях отражено практическое использование результатов исследований для решения реальных производственных задач, а также применение в учебном процессе.

В Заключение по работе сформулированы основные выводы, полученные в результате исследования, а также представлены рекомендации для дальнейшей разработки темы.

Основные научные результаты и их значимость для науки и производства

Представленная диссертационная работа по структуре и содержанию полностью соответствует поставленной цели и задачам проведенного исследования. Полученные в ходе выполнения диссертационной работы результаты обладают научной новизной.

Эмурлаевой Ю. Ю. проведены подробные исследования структурно-фазовых превращений, происходящих во время отжига биметаллических заготовок Al - Me (Me = Ti, Zr, Nb, Ta).

На основании анализа кинетики формирования фаз в зонах сопряжения разнородных материалов, а также комплекса методов моделирования (теория функционала плотности, метод упругой ленты, молекулярная динамика, кинетический метод Монте-Карло), выявлены особенности диффузионных механизмов, контролирующих рост интерметаллидов при отжиге биметаллов, полученных методом сварки взрывом.

Выявленные автором закономерности формирования структуры и ее влияние на механические свойства расширяют представления об особенностях строения алюминидов в слоистых металлинтерметаллидных композитах (СМИК) и позволяют расширить область их применения для производства легких конструкций в различных отраслях промышленности.

Практическое значение результатов работы заключается в разработке решений, направленных на исследовании диффузионных процессов в процессе создания СМИК. Применяя расчетные методы, можно существенно сократить процесс разработки алюминидов, модифицированных дополнительными элементами. Управлять структурой и свойствами разрабатываемых материалов.

С целью проведения расчетов параметров диффузии, а также выполнения профильного анализа дифрактограмм разработаны четыре программы для электронно-вычислительных машин. Разработанные программы представляют интерес для

специалистов, выполняющих исследования в области физического и химического материаловедения и связанных с изучением диффузионных процессов в веществах.

Технология и режимы получения слоистых композиционных материалов типа Al-X (где X - Ti, Zr, Ni, Co и др.) переданы в ЦАГИ имени профессора Н.Е. Жуковского.

Результаты диссертационной работы применяются в учебном процессе в Новосибирском государственном техническом университете при выполнении лабораторных работ и в лекционных курсах по дисциплинам «Композиционные материалы», «Диффузия в металлах и сплавах», «Применение дифракции синхротронного излучения в материаловедении».

Достоверность научных положений, результатов и выводов, приведенных в диссертационной работе, подтверждается использованием современного аналитического и испытательного оборудования, уровень которого соответствует передовым лабораториям в области материаловедения. Представленные в работе экспериментальные данные не противоречат результатам, полученным другими исследователями в области разработки композитных материалов с интерметаллидными составляющими. Полученные результаты опубликованы в рецензируемых научных журналах, а также докладывались на российских и международных научно-технических конференциях.

По диссертационной работе Ю. Ю. Эмурлаевой имеются следующие замечания:

1. Второе положение, выносимое на защиту, сформулировано неудачно. Разве непрерывный рентгенофазовый анализ с использованием синхротронного излучения позволяет определить стадии формирования интерметаллидных слоев и снизить трудоемкость исследования только для рассматриваемых в диссертации композиций?

2. Чем обусловлен выбор металлов Zr, Nb, Ta для получения интерметаллических слоев?

3. Чем можно объяснить столь существенное различие в твердости NbAl₃: 5,6...7,4 ГПа в данной работе и 21,85 ГПа по литературным источникам (таблица 4.1, стр. 130 диссертации)?

4. В главе 6 на стр. 181 диссертации указано, что «на основании проведенных исследований были выбраны режимы сварки»? О каких исследованиях идет речь? В диссертации нет сведений о варьировании режимами сварки. На этой же странице указано, что «разработанные рекомендации переданы в Центральный аэрогидродинамический институт». В чем конкретно заключаются упомянутые рекомендации?

5. Список литературы в работе оформлен не по ГОСТу: в некоторых случаях сначала идет название статьи, а в некоторых – фамилии авторов (например, п. 12 и 14, стр. 190 диссертации; п. 21 и 22, стр. 191 диссертации и т.д.).

Следует отметить, что указанные замечания не снижают ценность и значимость диссертационной работы.

Соответствие содержания диссертации указанной специальности

По своим целям и задачам, содержанию, методам исследования, новизне, практической значимости и выводам диссертация соответствует пунктам 1, 2, 5, 8 паспорта научной специальности 2.6.17 – Материаловедение.

Заключение

Представленная к защите диссертация Эмурлаевой Юлии Юрьевны «Структура и механические свойства интерметаллидных слоев, полученных при отжиге биметаллов Al - Me (Me = Ti, Zr, Nb, Ta)» имеет как научную, так и практическую ценность. Автореферат и публикации в научных изданиях подробно отражают содержание диссертационной работы. Выводы по диссертации являются достаточно полными, логичными и научно обоснованными. Диссертация написана корректным научно-техническим языком и подробно иллюстрирована графическим материалом.

Диссертационная работа Эмурлаевой Ю. Ю. полностью соответствует требованиям, предъявляемым Положением о присуждении ученых степеней (п. 9). Исследования, представленные в диссертации, являются законченной научной работой, которая выполнена на актуальную тему и содержит новые результаты. В работе представлены новые научно обоснованные данные о структурно-фазовых превращениях в СМИК, а также о свойствах интерметаллидных составляющих. На основании изложенного автор работы Эмурлаева Юлия Юрьевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение.

Отзыв обсужден и одобрен на научном семинаре Производственного внедренческого комплекса прикладных исследований и разработок (ПВКПИР) и Проблемной научно-исследовательской лаборатории самораспространяющегося высокотемпературного синтеза им. В.В. Евстигнеева Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технических университет им. И.И. Ползунова» 11 октября 2023 г., протокол №10.

Председатель семинара, директор Производственного внедренческого комплекса прикладных исследований и разработок Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технических университет им. И.И. Ползунова», доктор технических наук, профессор

Ситников Александр Андреевич

Секретарь семинара, старший научный сотрудник Проблемной научно-исследовательской лаборатории самораспространяющегося высокотемпературного синтеза им. В.В. Евстигнеева Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технических университет им. И.И. Ползунова», кандидат технических наук

Собачкин Алексей Викторович

Дата подписания отзыва «16» октября 2023 г.

Подписи Ситникова А.А. и Собачкина А.В. заверяю:

Ученый секретарь Ученого совета АлтГТУ

кандидат филолог

Головина Татьяна Анатольевна

Получено в печать
24.10.2023
Головина Т.А.

Служебный адрес:

656038, Российская Федерация, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», тел. +7 (3852) 290-710, Email: altgtu@list.ru, официальный сайт организации www.altstu.ru

С отзывом ознакомлена 24.10.2023

Юлия Эмурлаева