

«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор по науке

_____ М. С. Юсубов
«18» ноября 2020 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» на диссертационную работу Лазуренко Дарьи Викторовны «Структура и свойства слоистых композиционных материалов с интерметаллидной составляющей», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение)

На отзыв представлены:

- диссертационная работа объемом 421 страница, состоящая из введения, семи глав, заключения, списка литературы из 418 источников, приложений;
- автореферат диссертации на 36 страницах, включая список из 45 основных публикаций по теме диссертационной работы, в том числе 13 – в изданиях, рекомендованных ВАК и 30 – в зарубежных изданиях, цитируемых Web of Science и Scopus.

Актуальность темы диссертационной работы

Алюминиды титана и сплавы на их основе активно исследуются многочисленными научными коллективами в последние десятилетия. Интерес к ним обусловлен уникальным сочетанием их физико-механических и эксплуатационных свойств, в том числе при повышенных температурах. В настоящее время промышленное внедрение нашли интерметаллидные сплавы на основе γ -TiAl. Прогресс в этом направлении связан с разработкой сплавов 2го и 3го поколений для изготовления лопаток газотурбинных двигателей низкого давления. При этом возможности применения сплавов на основе Al_3Ti , основная проблема которых заключается в низкой пластичности и трещиностойкости, до сих пор сильно ограничены. В своей работе Лазуренко Д.В. акцентирует внимание на материалах подобного типа и предлагает научные и технические решения по улучшению их свойств. Автором было рассмотрено и апробировано два подхода: формирование композиционного материала, содержащего в себе интерметаллидные и вязкие

металлические слои и легирование алюминидов титана с целью стабилизации более пластичной его модификации. Проведенные в работе исследования сопряжены с подробным структурным анализом и изучением фазовых превращений, протекающих в двух- и трехкомпонентных сплавах в различных условиях внешнего воздействия, что позволяет глубже понять процессы, протекающие при формировании интерметаллидных структур и композиций на их основе. Кроме того, автор рассматривает подходы к улучшению свойств металлических сплавов путем создания поверхностных интерметаллидных слоев на металлических основах, что также является важным вкладом в возможности расширения промышленного использования алюминидов титана, поскольку позволяет компенсировать их основные недостатки. Подобного рода работы соответствуют приоритетам научно-технологического развития Российской Федерации.

В связи с вышеизложенным работа Лазуренко Д.В. является актуальной, а отраженные в ней результаты имеют важное научное и прикладное значение.

Содержание диссертации, изложенной в семи главах и содержащей введение, заключение, список использованных источников и приложения, в полной мере отражает логику, методологию, результаты и выводы проведенного исследования.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель, задачи и положения, выносимые на защиту, изложены методы исследований, приведена новизна результатов, их теоретическая и практическая значимость.

В главе 1 представлен литературный обзор, содержащий актуальную информацию по состоянию исследований в области интерметаллидных сплавов и композиционных материалов с интерметаллидной составляющей.

В главе 2 рассмотрены и проанализированы структурно-фазовые превращения, происходящие при формировании слоистых композиционных материалов методом сварки взрывом. Автором использованы различные методы структурного анализа для описания процессов формирования интерметаллидных структур в условиях высокоскоростного динамического нагружения и быстрого охлаждения.

Глава 3 посвящена анализу вклада интерметаллидных структур, сформированных в композитах системы титан-алюминий на этапе сварки взрывом, на процессы роста прослоек триалюминидов титана, а также рассмотрены различные технологические подходы к формированию композиций типа «Ti-Al₃Ti» с точки зрения их эффективности. На основании полученных результатов автор делает заключение, что рациональным

методом производства структур подобного типа является искровое плазменное спекание при температуре 830 °С.

В главе 4 рассмотрена возможность легирования триалюминида титана, являющегося составной частью композиционного материала, с целью формирования на его основе более пластичного трехкомпонентного интерметаллида с кубической решеткой. Для выявления элементов, действующих как стабилизаторы кубической структуры при нагреве чистых компонентов до 830 °С, был проведен *in situ* анализ фазовых превращений методом дифракции рентгеновского синхротронного излучения. Установлено, что рациональным является использование таких модификаторов, как цинк, серебро и медь.

В главе 5 приведены результаты исследований полученных искровым плазменным спеканием слоистых материалов на интерметаллидной основе, содержащих упрочняющую керамическую фазу. Проведен анализ структурных изменений, происходящих в материалах, на различных этапах их формирования, изучено их поведение в условиях механического нагружения при комнатной и повышенной температурах.

В главе 6 рассмотрены структура и свойства поверхностных интерметаллидных слоев, полученных на титановых основах методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошковых смесей систем Ti-Al и Ti-Al-Nb. Рассмотрены особенности фазообразования в неравновесных условиях, являющихся следствием быстрого охлаждения поверхностного слоя, определены свойства сформированных при обработке интерметаллидных сплавов.

Глава 7 содержит информацию о применении результатов работы в промышленности и учебном процессе.

В заключении представлены основные выводы по диссертационной работе и обсуждены перспективы дальнейшей разработки темы.

Научную новизну работы составляет совокупность теоретических и экспериментальных данных, полученных при исследованиях процессов, протекающих в системах Ti-Al и Ti-Al-M при формировании композиционных материалов типа металл-интерметаллид. Структурные исследования многослойных композиций, полученных различными методами, позволили не только выбрать наиболее эффективную технологию их производства, но и выявить основные факторы, влияющие на особенности формирования интерметаллидных слоев. Подробное изучение фазовых превращений, происходящих при нагреве чистых компонентов, с использованием метода дифракции рентгеновского синхротронного излучения в режиме *in situ*, позволило получить исчерпывающую

информацию о влиянии легирующих элементов на ход реакций в тройных системах на базе титана и алюминия, и произвести рациональный и обоснованный выбор компонента, способствующего стабилизации кубической модификации триалюминид титана. С использованием выбранного модификатора был получен новый тип композиционного материала – «Ti-Ti(Al_{1-x}M_x)₃», отличающегося повышенным уровнем трещиностойкости.

Структурный анализ, проведенный на различных масштабных уровнях, позволил выявить ряд неравновесных фазовых превращений, имеющих место в условиях быстрого охлаждения интерметаллидных сплавов, сформированных на поверхностях титановых заготовок. В ходе испытаний полученных композиционных структур при комнатной и повышенной температурах показан вклад интерметаллидной фазы в улучшение механических и эксплуатационных характеристик металлических заготовок.

Научная и практическая значимость работы заключается в следующем:

1. Полученные в работе результаты расширяют представления о фазовых превращениях, протекающих при нагреве двух- и трехкомпонентных систем на основе титана, алюминия и легирующего компонента. Результаты исследований фазовых превращений легли в основу выбора компонентов и режимов производства нового типа композита с модифицированной кубической структурой триалюминид титана, трещиностойкость которого более чем в 2 раза выше, по сравнению с его тетрагональной модификацией.

2. Глубоко изучены процессы, протекающие при синтезе композитов в неравновесных условиях, а именно в условиях быстрого нагрева и охлаждения, реализуемых при поверхностной электронно-лучевой обработке и в условиях высокоскоростных деформаций при сварке взрывом металлических пластин.

3. Апробация различных технологий получения композиционных материалов типа «титан – триалюминид титана» позволила выявить эффективные методы их производства. Наиболее рациональной является технология искрового плазменного спекания титановых и алюминиевых фольг при температуре 830 °С. Для предотвращения вытекания расплавленного алюминия из зоны реакции в процессе спекания предложено использовать титановые контейнеры.

4. Армирование интерметаллидных сплавов системы Ti-Al с α_2 и $\alpha_2+\gamma$ структурой твердыми керамическими слоями позволило снизить

скорость их ползучести на 2-3 порядка. Подобный эффект достигается только путем сложного легирования сплавов на основе алюминидов титана.

5. Нанесение защитных интерметаллидных покрытий на титан позволило снизить скорость его окисления до 18 раз и повысить износостойкость до 2,5 раз.

6. Результаты исследований используются на федеральном казенном предприятии «Новосибирский опытный завод измерительных приборов», в акционерном обществе «Катод», на предприятии «СКБ Сибэлектротерм», федеральном казенном предприятии «Новосибирский опытный завод измерительных приборов», в ПАО «Компания «Сухой» «Новосибирский авиационный завод имени В.П. Чкалова», в Сибирском научно-исследовательском институте авиации имени С.А. Чаплыгина, и в Новосибирском государственном техническом университете при реализации учебного процесса.

Достоверность научных положений, результатов и выводов обусловлена использованием современных методов исследований, а также аналитического и испытательного оборудования, уровень которого соответствует мировому; соответствием полученных результатов литературным данным. Результаты работы докладывались на многочисленных конференциях и опубликованы в рецензируемых научных журналах, в том числе и высокорейтинговых.

Соответствие содержания работы указанной специальности

Диссертационная работа соответствует пунктам 1, 2, 3, 6 и 10 паспорта научной специальности 05.16.09 Материаловедение (машиностроение):

п. 1 – теоретические и экспериментальные исследования фундаментальных связей состава и структуры материалов с комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств с целью обеспечения надежности и долговечности материалов и изделий;

п. 2 – установление закономерностей физико-химических и физико-механических процессов, происходящих на границах раздела в гетерогенных структурах;

п. 3 – разработка научных основ выбора материалов с заданными свойствами применительно к конкретным условиям изготовления и эксплуатации изделий и конструкций;

п. 6 – разработка и совершенствование методов исследования и контроля структуры, испытание и определение физико-механических и эксплуатационных свойств материалов на образцах и изделиях;

п. 10 – разработка покрытий различного назначения (упрочняющих, износостойких и других) и методов управления их качеством.

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. Глава 2 диссертации по объёму представляется перегруженной некоторыми материалами, отсутствие которых никак не сказалось бы на качестве представленной работы.

2. В главе 4 содержится много информации по фазовому составу трехкомпонентных систем Al-Ti-M, однако не сделано пояснение о том равновесными или метастабильными являются те или иные фазы.

3. В работе исследуются особенности разрушения слоистых композиционных материалов, при этом чёткого влияния строения материала и схемы приложения нагрузки на характер распространения трещин в работе не рассматривается.

4. Пункты научной новизны развёрнуты чрезмерно широко, в то время как положение, выносимое на защиту под № 5, из-за краткости не раскрывает до конца сути предлагаемых решений и полученных результатов.

Заключение

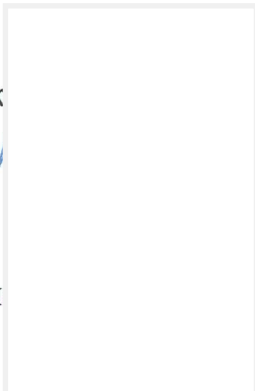
Оценивая в целом диссертационную работу Лазуренко Дарьи Викторовны «Структура и свойства слоистых композиционных материалов с интерметаллидной составляющей» можно констатировать, что отмеченные выше недостатки не снижают ее ценности. Работа написана хорошим научно-техническим языком, автореферат и публикации в научных изданиях полностью отражают содержание диссертации. В работе содержится много систематизированных и аналитических данных, которые полезны как для восприятия работы, так и для видения перспектив подобного рода исследований. Сформулированные в работе выводы являются вполне обоснованными и логичными.

Представленная к защите диссертация является законченной научно-квалификационной работой и в полной мере соответствует требованиям, предъявляемым п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ (Постановление Правительства № 842 от 24 сентября 2013 г.) к докторским диссертациям. Работа содержит новые научно обоснованные технические решения, направленные на получение новых композиционных материалов с повышенным уровнем удельных свойств, внедрение которых внесет существенный вклад в развитие экономики страны в сфере материалов машиностроительного и иного назначения. Автор диссертации заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение).

Отзыв на диссертационную работу составлен и утвержден на научном семинаре отделения материаловедения федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»
(протокол № 42 от « 17 » ноября 2020 г.).

Председатель семинара
Заведующий кафедрой –
руководитель отделения
на правах кафедры,
доктор технических наук
профессор



Клименов Василий Александрович

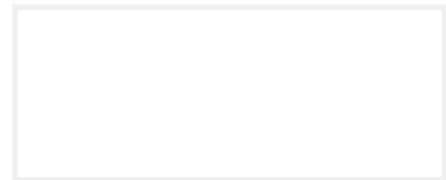
Ученый секретарь семинара
К.т.н., доцент

Ваулина Ольга Юрьевна

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский Томский
политехнический университет» (ФГАОУ ВО ТПУ)

634050, г. Томск, проспект Ленина, дом 30, тел.: (+7 3822) 60-62-60 или 70-
17-77 доб. 1021


<http://tpu.ru>, e-mail: scs@tpu.ru



Подписи В.А. Клименова и О.Ю. Ваулиной заверяю,
Ученый секретарь Ученого совета ТПУ

О.А. Ананьева

Дата подписания отзыва 18.11.2020 г.

Проставить в отчет 30.11.2020  О.А. Ананьева

Отзывом ознакомлена 01.12.2020

 О.А. Ананьева