

Директор Государственного научного учреждения «Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого Национальной академии наук Беларуси», д.т.н., профессор



А.Я. Григорьев

2023 г.

ОТЗЫВ ОППОНИРУЮЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Астрашаба Евгения Викторовича «Структурно-фазовые превращения в материалах систем Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al при получении износ- и коррозионностойких покрытий для деталей машиностроения», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение)

Диссертационная работа Астрашаба Е.В. посвящена изучению структурно-фазовых превращений в материалах систем Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al с целью получения покрытий с высокой износ- и коррозионной стойкостью для деталей машиностроения. Это направление исследований является актуальным вследствие необходимости повышения долговечности и надежности машин, что в значительной степени определяется степенью защиты деталей от изнашивания и воздействия агрессивной среды. Показана предпочтительность методов композиционного материаловедения для достижения поставленной цели, включая высокопроизводительный метод высокоскоростной металлизации, реализующий сверхзвуковое распыление исходных компонентов. Автором даны рекомендации по выбору состава исследуемых композиционных покрытий и режимов их термообработки (отжига) для достижения требуемых показателей свойств.

Таким образом, тема диссертации соответствует приоритетному направлению научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021-2025 годы (Указ Президента Республики Беларусь от 07.05.2020 № 156)

раздела 4 «Машиностроение, машиностроительные технологии, приборостроение и инновационные материалы»: «Композиционные и многофункциональные материалы».

Диссертационная работа Астрашаба Е.В. состоит из перечня сокращений и обозначений, введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Полный объем диссертации составляет 193 страницы, включая 86 страниц машинописного текста, 85 иллюстраций, 69 таблиц, библиографический список (161 наименование), список публикаций соискателя из 14 наименований и 3 приложений.

Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и отрасли науки со ссылкой на область исследования паспорта соответствующей специальности, утвержденного ВАК:

Объектом исследования являются композиционные покрытия на основе систем Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al в исходном состоянии и после отжига. Предметом исследования являлись процессы формирования структуры, фазового состава и свойств композиционных покрытий на основе систем Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al при их напылении и последующем отжиге.

Содержание диссертации, ее основные результаты и положения, выносимые на защиту, соответствуют специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение) и относятся к указанным в паспорте специальности областям исследований по разделу III (Приказ Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 18 декабря 2017 г. № 292), включая:

п. 1. Закономерности формирования структуры материалов с заданным комплексом эксплуатационных характеристик в зависимости от их состава, а также при различных воздействиях (механическом, термическом, термомеханическом, радиационном и других);

п. 3. Механизмы фазовых и структурных превращений в материалах при их получении, обработке давлением, термических воздействиях, модификации поверхностных слоев, в процессе эксплуатации в изделиях различного назначения;

п. 5. Методы улучшения технологических (обрабатываемости, пластичности, твердости и др.) и эксплуатационных (статической и циклической прочности, износостойкости, теплостойкости, коррозионной

стойкости и др.) свойств материалов и изделий из них. Покрытия, изменяющие эти свойства и методы управления их качеством;

п. 12. Установление закономерностей физико-химических и физико-механических процессов, происходящих на границах раздела в гетерогенных структурах.

Научный вклад соискателя в решение научной задачи соценкой его значимости:

Целью работы является изучение структурно-фазовых превращений систем Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al при получении износо- и коррозионностойких покрытий для деталей машиностроения, а также разработка рекомендаций по выбору материалов покрытий, режимов их отжига с целью повышения эксплуатационных свойств.

При решении соответствующей научной задачи соискателем получены следующие новые научно обоснованные результаты:

- закономерности формирования структуры, фазового состава композиционных покрытий на основе систем Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al при их высокоскоростной металлизации, описывающие образование компонентов переменного состава вследствие их контактного взаимодействия на стадии распыления, что позволило сформировать покрытия с пониженной концентрацией оксидов, а также повышенной коррозионной стойкостью;

- анализ структурно-фазовых превращений, протекающих в композиционных покрытиях на основе систем Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al при отжиге в интервале температур 350-920 °С в течение 1-10 часов, позволивший установить механизм диффузионного взаимодействия компонентов переменного состава и сформировать покрытия, включающие интерметаллидные соединения различного стехиометрического состава;

- характеристики коррозионной стойкости, адгезионной прочности, твердости/микротвердости, трения и изнашивания при наличии и в отсутствие смазки композиционных покрытий на основе систем Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al в исходном состоянии и подвергнутых отжигу, что позволило разработать рекомендации по выбору материалов для высокоскоростной металлизации и режимам отжига указанных покрытий, обеспечивающие повышение износо- и коррозионной стойкости деталей машин, а также типовой технологический процесс напыления и отжига (Ni-Cr)-Al покрытия;

– экспериментально-статистические (корреляционные) зависимости интенсивности массового (при сухом трении) и линейного (при трении со смазкой) изнашивания композиционных покрытий на основе систем Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al от температуры и продолжительности выдержки при отжиге, что позволило установить режимы отжига, обеспечивающие максимальную износостойкость покрытий;

Основные результаты диссертационные исследования получены соискателем самостоятельно. Совместно с научным руководителем (к.т.н. Григорчиком) сформулированы цель и задачи исследования, обсуждены и интерпретированы полученные результаты, в интерпретации которых принимал участие профессор, д.ф.-м.н. Кукареко В.А. При проведении и анализе результатов отдельных исследований принимали участие сотрудники ОИМ НАН Беларуси.

Конкретные научные результаты (с указанием их новизны и практической значимости), за которые соискателю может быть присуждена искомая ученая степень:

Астрашабу Е.В. может быть присуждена ученая степень кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – 05.16.09 – материаловедение (машиностроение) за новые и практически значимые научные результаты:

– впервые установленные закономерности формирования структуры и фазового состава композиционных покрытий на основе систем Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al, включающих образование расплавов переменного состава вследствие контактного взаимодействия компонентов в жидком состоянии на стадии распыления и последующую реакционную диффузию между компонентами сплавов в твердом состоянии при отжиге, что позволило сформировать многокомпонентные покрытия, содержащие фазы AlFe, AlFe₃ в системах Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и фазы AlNi, AlNi₃ в системе (Ni-Cr)-Al, снизить концентрацию оксидов в Fe-Al покрытии (до 5-8 об.%) по сравнению с покрытиями из сталей, повысить коррозионную стойкость Fe-Al и (Fe-Cr-Ni)-Al покрытий в 4,2 и 1,6 раза соответственно;

– вывод о том, что образование расплавов компонентов с переменным составом на стадии напыления композиционных покрытий на основе систем Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al приводит к одновременному образованию интерметаллидных соединений различного стехиометрического состава при отжиге покрытий, что позволяет получать железо-алюминиевые и никель-алюминиевые покрытия, содержащие интерметаллидные соединения AlFe,

AlFe_3 и $\text{Al}_{13}\text{Fe}_4$, Al_3Fe , Al_5Fe_2 (до ≈ 60 об.%), а также AlNi , AlNi_3 и Al_3Ni , Al_3Ni_2 (до ≈ 50 об.%);

– вывод о влиянии температуры и времени выдержки при отжиге на структуру и фазовый состав композиционных покрытий на основе систем Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al, что позволяет управлять их пористостью, а также снизить содержание интерметаллидных фаз $\text{Al}_{13}\text{Fe}_4$, Al_3Fe , Al_5Fe_2 и Al_3Ni , Al_3Ni_2 , отличающихся повышенной хрупкостью, а также повысить содержание фаз AlFe , AlFe_3 и AlNi , AlNi_3 , что способствует увеличению твердости, микротвердости, адгезионной прочности и износостойкости композиционных покрытий;

– разработку экспериментально-статистических (корреляционных) моделей, описывающих влияние температурно-временных параметров отжига на износостойкость композиционных покрытий на основе систем (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al, и также зависимость интенсивности изнашивания при сухом трении и со смазкой от параметров отжига, что позволяет их оптимизировать по критерию износостойкости повышенной износостойкости.

О новизне результатов также свидетельствует техническое решение в виде полученного соискателем евразийского патента на изобретение.

Практическая значимость полученных результатов исследований заключается в разработке рекомендаций по выбору материалов для формирования композиционных покрытий на основе Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al, а также режимов их отжига, обеспечивающих повышение износостойкости композиционных покрытий до 24 раз при сухом трении и до 1,3 раза при трении со смазкой. Использование композиционных покрытий, полученных методом высокоскоростной металлизации, перспективно для восстановления изношенных деталей машиностроения, работающих в различных коррозионных средах или узлах трения.

Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует:

Содержание диссертационной работы, автореферата и опубликованных научных работ характеризуется весьма глубокой интерпретацией полученных соискателем экспериментальных данных и свидетельствуют о научной квалификации автора, соответствующей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение). Работа соискателя соответствует п. 20 Положения о

присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь.

Основные результаты диссертации опубликованы в 14 научных работах, из которых 6 – статьи в журналах и сборниках трудов, входящих в перечень ВАК Республики Беларусь, 5 – статьи в зарубежных научных журналах, 3 – статьи в сборниках трудов конференций, что в совокупности соответствует п.19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь. В Евразийском патентном ведомстве получен 1 патент на изобретение.

Рекомендации по использованию результатов диссертации, которые могут найти практическое применение:

Результаты исследований, включая рекомендации по выбору материалов для высокоскоростной металлизации, режимам отжига композиционных покрытий на основе систем Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al и разработанный типовой технологический процесс могут использоваться на машиностроительных предприятиях для восстановления и повышения износо- и коррозионной стойкости деталей машин.

Замечания по диссертации:

1. Название диссертационной работы «Структурно-фазовые превращения в материалах систем Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al при получении износо- и коррозионностойких покрытий для деталей машиностроения» соответствует ее содержанию, но терминологически более верной была бы формулировка: «Структурно-фазовые превращения в материалах систем Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al при получении износо- и коррозионностойких покрытий для деталей машин».

2. В автореферате при изложении результатов обзора литературы по теме диссертации не указаны научные центры, отечественные и зарубежные специалисты, работающие в исследуемой области.

3. На рисунке 1 (стр. 8 автореферата) обозначения стальных и алюминиевых частиц не совпадают с таковыми в подрисуночной подписи.

4. Таблицы 1.1 (стр. 16) и 1.3 (стр. 18 диссертации), взятые из англоязычного источника (картотеки PDF-2) должны быть представлены на русском языке.

5. На «характерной» диаграмме нагружения штифтовой пробы (рисунок 3.14) видно, что адгезионная прочность покрытия ниже 100 МПа, в то время как в комментарии говорится о прочности 113 МПа.

6. В автореферате при описании главы 4 не приведены корреляционные зависимости интенсивности изнашивания от температуры и времени выдержки при отжиге.

7. Текст на ряде рисунков (например, 1.8, 3.19, 3.51, 4.4) очень мелкий.

8. При достаточно четком изложении и в целом высоком качестве текста диссертации и автореферата, в диссертации имеются терминологические неточности (например, «повышение свойств», «пластичатое контртело» на стр. 7 автореферата) и ошибки пунктуации в виде лишних или пропущенных запятых.

9. Имеются терминологические ошибки в белорусскоязычном резюме.

Отмеченные замечания не затрагивают основные положения, выносимые на защиту, не снижают научную и практическую значимость полученных результатов в диссертации Асташаба Е.В. и не ставят под сомнение результаты исследований и выводы по работе.

Заключение:

Диссертационная работа Асташаба Е.В. «Структурно-фазовые превращения в материалах систем Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al при получении износ- и коррозионностойких покрытий для деталей машиностроения» является *завершенным квалифицированным* исследованием и соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук (гл. 3 «Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь» от 17.11.2004 г. № 560 в редакции Указа Президента Республики Беларусь от 02.06.2022 № 190), содержит принципиально новые научные данные об структурно-фазовых превращениях композиционных покрытиях на основе систем Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al при их получении и последующей термообработке (отжиге).

Асташаб Евгений Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение) за комплекс проведенных

экспериментальных и теоретических исследований, позволивших получить новые научно обоснованные результаты, включающие:

– закономерности формирования структуры и фазового состава композиционных покрытий на основе систем Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al, отличающиеся учетом контактного взаимодействия компонентов в жидком состоянии, приводящего к образованию расплавов переменного состава на стадии распыления с последующей реакционной диффузией между частицами сплавов при отжиге, что обеспечивает снижение содержания оксидов до 5-8 об. % и образование интерметаллидных фаз $AlFe_3$, AlNi, способствуя повышению коррозионной стойкости до 4,2 раз;

– механизм структурно-фазовых превращений при отжиге композиционных покрытий на основе систем Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al в интервале температур 350-920 °С, отличающийся протеканием реакционной диффузии во множестве диффузионных пар с различным соотношением содержания компонентов, что приводит к одновременному образованию интерметаллидных фаз AlFe, $AlFe_3$ и AlNi, $AlNi_3$, а также $Al_{13}Fe_4$, Al_3Fe , Al_5Fe_2 и Al_3Ni , Al_3Ni_2 , расположенных в виде отдельных частиц, распределенных случайным образом в объеме покрытий, что обеспечивает повышение твердости до $\approx 1,3$ раз, микротвердости до $\approx 1,8$ раз, адгезионной прочности до $\approx 1,4$ раз и износостойкости до ≈ 24 раз композиционных покрытий;

– закономерности изменения триботехнических свойств композиционных покрытий на основе систем Fe-Al, (Fe-Cr-Ni)-Al и (Ni-Cr)-Al в зависимости от температуры отжига в интервале 500-700 °С и времени выдержки в течение 20-60 минут, включающие экспериментально полученные значения интенсивности изнашивания указанных покрытий при сухом трении и трении со смазкой, а также разработанные экспериментально-статистические математические модели, описывающие зависимости интенсивности массового и линейного изнашивания от температуры и продолжительности отжига, что позволило установить его режимы указанной термообработки, обеспечивающие их максимальную износостойкость и заключающиеся в отжиге Fe-Al композиционного покрытия при температуре 530 °С в течение 60 минут, отжиге (Fe-Cr-Ni)-Al композиционного покрытия при температуре 580-590 °С в течение 40-45 минут и отжиге (Ni-Cr)-Al композиционного покрытия при температуре 630-640 °С в течение 40-50 минут;


что в совокупности соответствует требованиям пунктов 19 и 20 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь.

Доклад соискателя Асташаба Е.В. и проект отзыва на диссертацию заслушаны и обсуждены на расширенном заседании секции «Материаловедение и технология машиностроения» Государственного научного учреждения «Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого Национальной академии наук Беларуси» (протокол № 2 от 29.11.2023 г.) согласно приказу директора Института (№117 от 23.11.2023 г.).

На заседании присутствовали 14 человек. В открытом голосовании приняли участие 13 человек, из них докторов наук – 2, кандидатов наук – 11.

Результаты открытого голосования: «за» – 13, «против» – нет, «воздержались» – нет.

Председатель заседания:
д.т.н., профессор



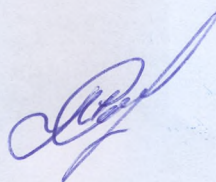
В.М. Шаповалов

Эксперт
к.т.н.



С.В. Шилько

Секретарь заседания:
к.т.н.



О.А. Макаренко